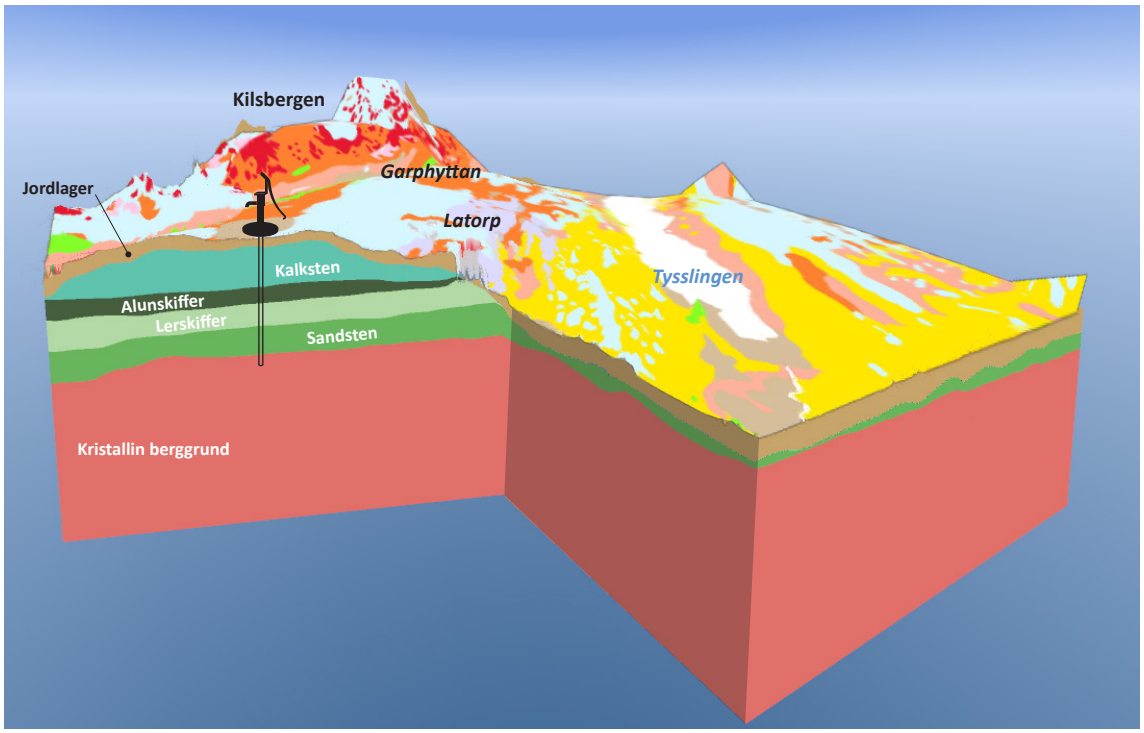
Helikopterburna TEM-mätningar i Örebro län – Geologiska tolkningar och hydrogeologisk tillämpning

Lena Persson, Magdalena Thorsbrink, Linda Wickström,
Otto Pile, Lena Maxe & Mikael Erlström

december 2020

SGU-rapport 2020:41



SGU Sveriges geologiska undersökning

Omslagsbild: Utsnitt ur den geologiska 3D-modellen över Närkeslätten i området vid Latorpsplatån. Betraktelsepunkten ligger i söder och den vertikala skalan är överdriven femton gånger i förhållande till den horisontella. Markytan är draperad med en förenklad version av jordartskartan.

Författare: Lena Persson, Magdalena Thorsbrink, Linda Wickström, Otto Pile, Lena Maxe och Mikael Erlström

Granskad av: Cecilia Brolin och Peter Dahlqvist

Ansvarig enhetschef: Jakob Levén

Redaktör: Jeanette Bergman Weihed, Tellurit AB

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

www.sgu.se

INNEHÅLL

Sammanfattning ... 5
Abstract ... 6
Termer ... 8
Inledning ... 9
Undersökningsområde ... 11
Mål och syfte ... 13
Genomförda undersökningar och underlagsdata ... 14
  SkyTEM ... 14
  Brunnsarkiv och borrningar ... 16
    Brunnsarkiv och lagerföljdsdata ... 16
    Utförda jord- och bergborrningar ... 17
  Geofysiska borrhåls- och markmätningar ... 19
    Borrhålsloggning ... 19
    RMT ... 19
Geologisk beskrivning ... 20
  Berggrund ... 20
    Spröda deformationszoner, förkastningar och sprickor ... 22
  Jordarter ... 23
    Jordarternas bildningsmiljöer efter senaste istiden ... 23
    Jordartskartläggning i området ... 23
    Jordarternas utbredning ... 25
  Hydrogeologiska förhållanden och vattenförsörjning ... 28
    Grundvattentillgång i jordlagren ... 28
    Grundvattentillgång i berggrunden ... 28
    Vattenförsörjning ... 32
  Grundvattenkemi ... 33
Övergripande resultat ... 38
  Tolkning av geologiska profiler och 3D-modellering av resistivitetsdata ... 38
    Resistivitetsmodeller från ATEM-data ... 38
    Bergöveryta och jorddjup ... 39
    Sandstenens mäktighet och utbredning ... 41
  Förkastningar och spröda deformationszoner i berggrunden ... 42
  Sandstenens mäktighet kopplat till hydraulisk konduktivitet ... 42
Områdesvisa geologiska och hydrogeologiska tolkningar ... 47
  Delområde 1: Garphyttan–Vintrosa–Örebro ... 47
    Latorpsplatån – BH 1 (Egersta) ... 48
    Ekebergområdet – SB 3 ... 51
  Delområde 2: Fjugesta–Hardemo ... 52
    Hardemoåsen – BH 3 (Luggavi) ... 52
    Förkastning vid Hardemo – BH 5 (Bostället) ... 55
    Askersundsåsen vid Fjugesta–Edsberg (SB 4) ... 57
  Delområde 3: Vretstorp–Snavlunda (SB 5) ... 60

Delområde 4: Kumla–Sköllersta 62
Förkastning vid Kumla–Ekeby (BH 6, BH 7 och BH 8) 63
Svennevadsåsen vid Kvismaren (SB 9) 67
Svennevadsåsen vid Tarsta 68
Sulfidhaltiga gyttjejordar vid Kvismaren (SB 8) 69
Delområde 5: Odensbacken och östra delen av området 70
Slutsatser och diskussion 74
ATEM-metodens möjligheter och begränsningar 74
Geologisk och hydrogeologisk tolkning 74
Berggrund 75
Jordlager 75
Referenser 77
Bilaga 1. Lagerföljder från utförda borrningar 80
Bilaga 2. Geofysisk borrhålsloggning 82
Bilaga 3. Medelresistivitet för valda djup- och höjdintervall 85

SAMMANFATTNING

Sveriges geologiska undersökning (SGU) undersökte 2018 ett 800 km^2 stort område inom Örebro län med helikopterburen transient elektromagnetisk mätning (ATEM – Airborne Transient Electromagnetics). Området omfattar i huvudsak den så kallade Närkeslätten. Syftet med undersökningarna har varit att ta fram ett förbättrat geologiskt underlag för att kunna bedöma, identifiera och avgränsa områden med goda förutsättningar för grundvattenuttag.

ATEM-tekniken har visat sig väl lämpad för undersökningar av den lagrade sedimentära berggrunden på Närkeslätten. Lagren kan särskiljas beroende på deras olika resistivitet orsakad av variationer i lerhalt, porositet och vattenhalt. Sammantaget ger mätningarna tillsammans med utförda undersökningsborrningar en mycket god bild av markens strukturella uppbyggnad ner till ca 150 m djup.

Mätningarna har framför allt resulterat i helt ny kunskap om markens tredimensionella uppbyggnad. Förutom den övergripande 3D-modellen för Närkeslätten ges även inledande tolkningar och bedömningar av grundvattensituationen inom ett antal delområden.

Jordarterna inom området domineras av lera och morän. En ny modell över jordlagrens mäktighet har tagits fram över området. Medelmäktigheten på jordlagren är drygt 10 m inom undersökningsområdet. Jordlagren överlagrar inom undersökningsområdet huvudsakligen paleozoisk sedimentär berggrund som består av lager med kalksten, alunskiffer, lerskiffer och sandsten. Flertalet av dessa lager har särskiljande resistivitetssignatur, där speciellt lerskiffern framträder som ett tydligt lågresistivt lager. Området med sedimentär berggrund avgränsas i väster (Kilsbergen) och söder av förkastningszoner som även markerar gränsen mot den kristallina berggrunden.

Av speciellt intresse är de tolkningar och modeller som tagits fram för den kambriska sandstenens utbredning och mäktighet, eftersom denna bedöms som en av de viktigaste grundvattenakvifererna på Närkeslätten. Förutom tillgångar i sandstenslagren utgör de nord–sydligt orienterade isälvsavlagringarna de viktigaste grundvattenförekomsterna. Här har ATEM-mätningarna också bidragit med information om avlagringarnas utbredning.

En annan värdefull kunskap som tagits fram är områden där den sedimentära berggrunden utsatts för glacial erosion. Ett exempel på detta finns i Hardemoåsens sträckning, där sandstenen sannolikt borteroderats av den isälv som bildade åsen.

Undersökningarna har även resulterat i en omtolkning av områdets förkastningar och deformationszoner. En tidigare okänd förkastning har identifierats och för några av de kända förkastningarna har sträckningen justerats. Förkastningar är intressanta ur ett grundvattenperspektiv då berget ofta är mer vattenförande i dessa zoner.

Av särskilt värde för grundvattenarbetet har följande kunskap kommit fram:

- En 3D-modell som kan användas som underlag för grundvattenmodellering för bedömning av t.ex. grundvattentillgång, grundvattenbildning och sårbarhet.
- En modell av den kambriska sandstensakviferens utbredning och mäktighet.
- Jordlagrens mäktighet och uppbyggnad, avgränsning av leriga, täta områden (moränlera) och förekomst av sandiga potentiella grundvattenakviferer (isälvsavlagringar), till exempel Askersundsåsen.
- Läget för större förkastningar och förkastningszoner med potentiellt kraftigt uppsprucken och vattenförande berggrund.

De nya resultat som tagits fram kommer även att leda till förändringar i SGUs hydrogeologiska och berggrundsgeologiska databaser. Arbetet har dessutom resulterat i fem nya stationer i SGUs grundvattennät.

ABSTRACT

In 2018, the Geological Survey of Sweden (SGU) performed a helicopter borne transient electromagnetic survey (ATEM – Airborne Transient Electromagnetic Measurement) in Örebro County. The survey covered 800 km^2, involving a geographical area referred to as ”Närkeslätten” the Närke plain. The primary purpose of the survey was to improve the geological and hydrogeological knowledge of the area to facilitate the management of water resources and water supply.

The ATEM technique has proven to be well suited for investigations of the layered sedimentary bedrock in Närkeslätten. Different layers in the ground can be recognized owing to their different resistivity signature, which are related to variations in clay content, porosity and water saturation. Together with additional information from boreholes, the ATEM measurements give a very good picture of the soil and bedrock layers down to a depth of approximately 150 m.

The measurements and interpretations have resulted in extensive new data and knowledge on the 3D subsurface structure of the ground. In addition to the geological 3D model, interpretations and assessments of the groundwater situation in a number of sub-areas are presented.

The soil in the area is dominated by clay and moraine. A new soil depth model has been constructed. This shows that the soil overburden thickness averages c. 10 m in the study area. In the largest part of the investigated area, the Quaternary soil strata cover Lower Paleozoic (Cambrian–Ordovician) limestone, alum shale, clay shale and sandstone. Most of these layers have distinctive resistivity signatures, where especially the clay shale emerges as a clear low-resistive layer in the TEM data. The sedimentary bedrock area is bounded to the west (Kilsbergen) and south by major fault zones that also mark the boundary to the areas outside dominated by crystalline bedrock.

Of specific interest are the interpretations and models developed for the distribution and thickness of the Cambrian sandstone, as this is one of the most important groundwater aquifers on the Närkeslätten. In addition to the potential ground water resources in the sandstone, north–south oriented Quaternary alluvial deposits comprise the most significant groundwater deposits. The distribution of these alluvial deposits are also identified in the ATEM data set.

Additional valuable knowledge has been developed in areas where the sedimentary bedrock has been affected by glacial erosion, exemplified by the outline of the Hardemo esker, where the sandstone was probably eroded away by the ice river that deposited the esker.

The investigations have also resulted in an updated picture of the orientation, location and occurrence of faults and deformation zones. Since faults are commonly interesting from a groundwater perspective, this updated fracture map provides a good foundation for future investigations of potential groundwater resources linked to these zones.

From a groundwater viewpoint, the following main results have emerged:

- A 3D model that can be used as a basis for groundwater modeling for assessments concerning groundwater assets, groundwater formation and vulnerability.
- A model of the distribution and thickness of the Cambrian sandstone aquifer, which is one of the main potential groundwater resources.

- The thickness and structure of the soil layers, outlining the clay-rich areas (moraine clay) and the existence of sandy potential groundwater aquifers (alluvial deposits), e.g. Askersundsåsen.
- An updated map of faults and deformation zones with potentially relatively more fractured and water-bearing bedrock.

In addition, the investigations have provided data that have resulted in modifications and an update of SGU's hydrogeological and bedrock databases. The work has also resulted in five monitoring wells that are now included in SGU's national groundwater network.

TERMER

Akvifer	En vattenförande formation i jord eller berg som kan avge vatten i användbara volymer.
ATEM	Airborne Transient Electromagnetic. Luftburen TEM-metod.
Borrhålsloggning	Olika geofysiska mätinstrument förs ner i ett borrhål och registrerar borrhålsväggens och grundvattnets fysikaliska egenskaper.
Brunnsarkivet	SGUs brunnsarkiv som tar emot och lagrar information om brunnar enligt lagen om uppgiftsskyldighet (SFS 1975:424).
Drumlin	Landform, ofta av morän, som skapats subglacialt, det vill säga under en inlandsis. De är orienterade parallellt med isens rörelseriktning och uppträder ofta svärmvis.
Grundvattenmagasin	En hydrauliskt avgränsad enhet av en eller flera geologiska formationer som medger uttag av grundvatten.
K	Ett värde på markens vattengenomsläpplighet, den så kallade hydrauliska konduktiviteten. Anges i m/s.
Kaxprov	Finfördelat material av jord eller berg som tas upp vid hammarborrning.
Paleogeografi	Beskrivning av geografi, speciellt fördelningen av land och hav, under olika geologiska tidsperioder.
Pålagringskontakt	Kontakten mellan sedimentär berggrund och kristallin berggrund där avsättningen av sediment skett direkt på den kristallina berggrunden.
Resistivitet	Ett materials motstånd till att leda elektrisk ström. Mäts i enheten ohm-meter (ohmm).
Radiomagnetotellurik (RMT)	Elektromagnetisk geofysisk mätmetod som utnyttjar radiosändare i frekvensområdet 12–250 kHz.
Rödfyr	Restprodukt som bildas när man bränner alunskiffer.
Skruvborrning	Borrning i jord med hjälp av en skruv samtidigt som jordprover tas. Utrustningen för skruvborrning är monterad på en bandvagn.
SkyTEM	Helikopterburet elektromagnetiskt mätsystem anpassat för hydrogeologiska tillämpningar. SkyTEM är också namnet på det företag som utför mätningarna.
Sondering	En spets trycks, vrids eller slås ner genom jordlagren med en borrbandvagn. Motståndet mot neddrivningen registreras och tolkas till jordart.

INLEDNING

Låga grundvattennivåer har de senaste åren skapat problem för såväl kommunal som enskild vattenförsörjning runt om i Sverige. Inom Örebro län har grundvattennivåerna periodvis varit mycket låga för årstiden under åren 2017 till 2020 (SGU 2020a). Sveriges geologiska undersökning (SGU) fick 2018 ett regeringsuppdrag som bland annat går ut på att utöka kartläggningen och karaktäriseringen av grundvattenresurser i särskilt utsatta bristområden. Det rör sig framför allt om områden med liten tillgång på grundvatten, men även områden med stora behov av vatten. Syftet med den utökade kartläggningen är att den ska bidra med ett förbättrat planeringsunderlag som förenklar och säkerställer kommunal och regional vattenförsörjningsplanering.

Inom grundvattensatsningen har betydande resurser avsatts för helikopterburna geofysiska mätningar inom områden där metoden bedömts fungera bra, framför allt områden med sedimentär berggrund. Själva metoden är en helikopterburen transient elektromagnetisk metod och benämns ATEM (Airborne Transient Electromagnetic). Under de senaste åren har SGU gjort undersökningar på Gotland och Öland samt i Halland, Östergötland och Västergötland med denna teknik. Undersökningarna har gett detaljerad information om geologiska förhållanden i jordlagren och berggrunden som även kan kopplas till hydrogeologiska förutsättningar och bedömning av förekomst av grundvattenmagasin (Dahlqvist m.fl. 2015, 2017, 2018, 2019, 2020a, b).

De helikopterburna mätningarna inom Örebro län har koncentrerats till områden med sedimentär berggrund, det vill säga Närkeslätten. SGU bedömer att här har metoden störst potential att bidra med ett förbättrat geologiskt underlag för bedömning av områdets hydrogeologiska förutsättningar.

ATEM-mätningar är en kostnadseffektiv metod eftersom den möjliggör insamling av stora mängder data under kort tid. Metoden ger yttäckande information och visar även förändringar med avseende på djupet. Man får därigenom en tredimensionell bild av jordlagren och berggrunden. Insamlade data bearbetas och resultatet från mätningen visar resistivitetsvariationer från markytan och ned till ett djup av ca 150 m. Resistivitet beskriver ett materials motstånd till att leda ström och påverkas framför allt av det geologiska materialets porositet, andel lermineral och vatteninnehåll. Med hjälp av geologiska konceptuella modeller och andra data (främst lagerföljder från borrningar) kan resistiviteten översättas till geologi, och tolkningar avseende områdets hydrogeologiska förutsättningar kan sedan göras.

Rapporten ger en övergripande bild av utförda undersökningar samt tolkningar (modeller) av jordlagren, berggrunden, förkastningar och sprickzoner med bäring på grundvattensituationen. De presenterade tolkningarna (modellerna) ska ses som ett första steg till beskrivning av markens tredimensionella uppbyggnad och egenskaper på Närkeslätten. Denna rapport vänder sig framför allt till de som arbetar med grundvattenfrågor inom eller i anslutning till undersökningsområdet. Den insamlade informationen och de presenterade tolkningarna ska även ses som ett underlag till ytterligare fördjupade undersökningar som kan utföras av t.ex. högskolor, universitet och konsulter. SGUs målsättning och arbetssätt är att insamlade data ska vara publikt tillgängliga för externa intressenter.

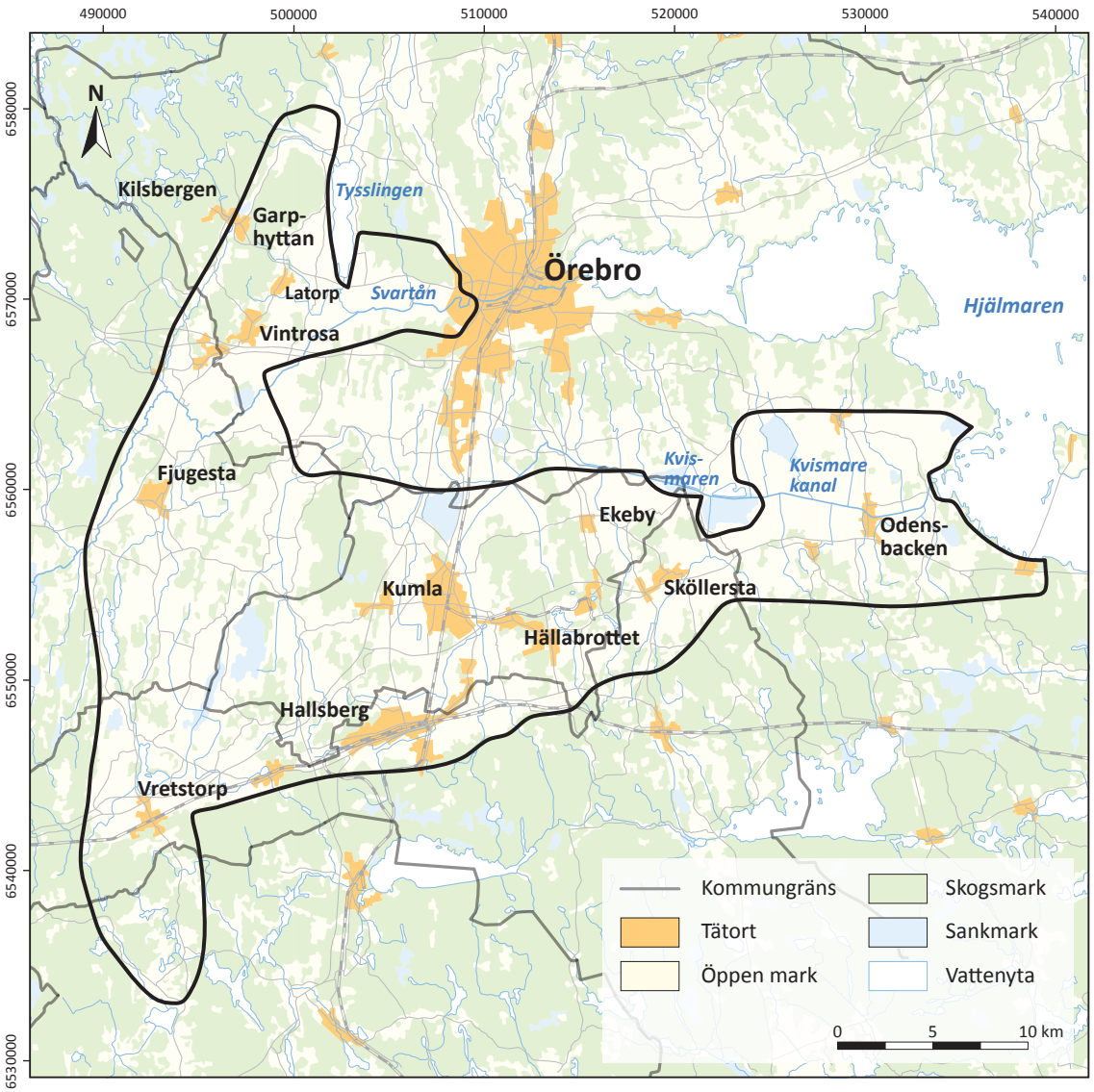
I första delen av rapporten görs en kort beskrivning av undersökningsområdet, samt de underlagsdata som ingått i tolkningen, både äldre data och de som har tagits fram i samband med denna undersökning. Sedan följer en geologisk beskrivning av området med avseende på berggrund, jordarter och hydrogeologi. Dessutom finns ett avsnitt om grund-

vattenkvaliteten inom undersökningsområdet. I den tredje delen presenteras resultaten från den helikopterburna TEM-undersökningen samt de borrningar som utförts inom projektet. Resultatdelen är uppdelad i två delar: först presenteras de resultat som berör hela området, sedan presenteras mer specifika resultat över delområdena. Slutligen ges en övergripande sammanfattning och diskussion av resultaten.

UNDERSÖKNINGSOMRÅDE

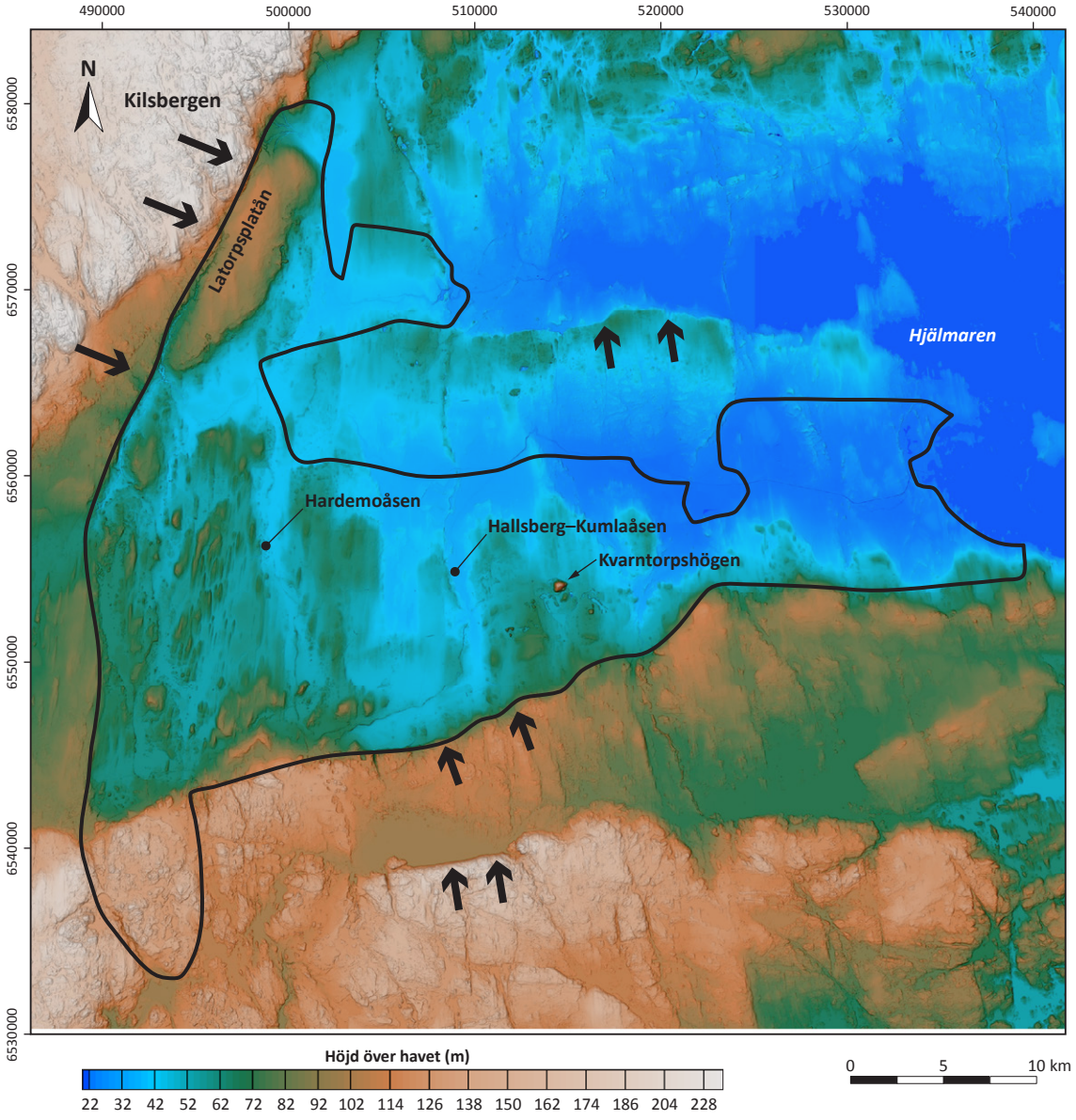
ATEM-undersökningen utfördes inom Örebro län och berör delar av Örebro, Lekeberg, Kumla, Hallsberg och Askersunds kommuner (fig. 1). Området är ca 800 km^2 och sträcker sig från Kilsbergen i väster till Hjälmaren i öster. Området omfattar i huvudsak den så kallade Närkeslätten som till största delen består av odlingsmark.

Berggrunden består i ytan huvudsakligen av sedimentära bergarter och begränsas i väster och söder av förkastningszoner som även markerar gränsen mot områden med kristallin berggrund. Förkastningszonerna framträder även tydligt i höjddata (fig. 2). Själva undersökningsområdet är relativt flackt. Latorpsplatån i den nordvästra delen, med bevarade kalkstenslager på toppen syns som en tydlig höjdplatå. I den centrala delen av området finns Kvarntorpshögen som höjer sig över landskapet (+150 m ö.h.). Den sydvästligaste delen av undersökningsområdet (delvis inom Askersunds kommun) ligger på kristallin berggrund, söder om den sydvästliga förkastningszonen. Detta område undersöktes främst på grund av att här finns relativt stora isälvsavlagringar.



Figur 1. Undersökningsområdet i Örebro län.

De största grundvattentillgångarna inom undersökningsområdet finns i de stråk av isälvsavlagringar som förekommer i nord–sydlig riktning inom området. För den enskilda vattenförsörjningen är också grundvattentillgången i berg av betydelse. Området avvattnas till största delen via Svartån respektive Kvismare kanal och vidare österut mot Hjälmaren.



Figur 2. Höjdmodell över området (Lantmäteriet). Pilarna markerar läget för de öst–västliga och nord–sydliga förkastningar som omger Närkeslätten.

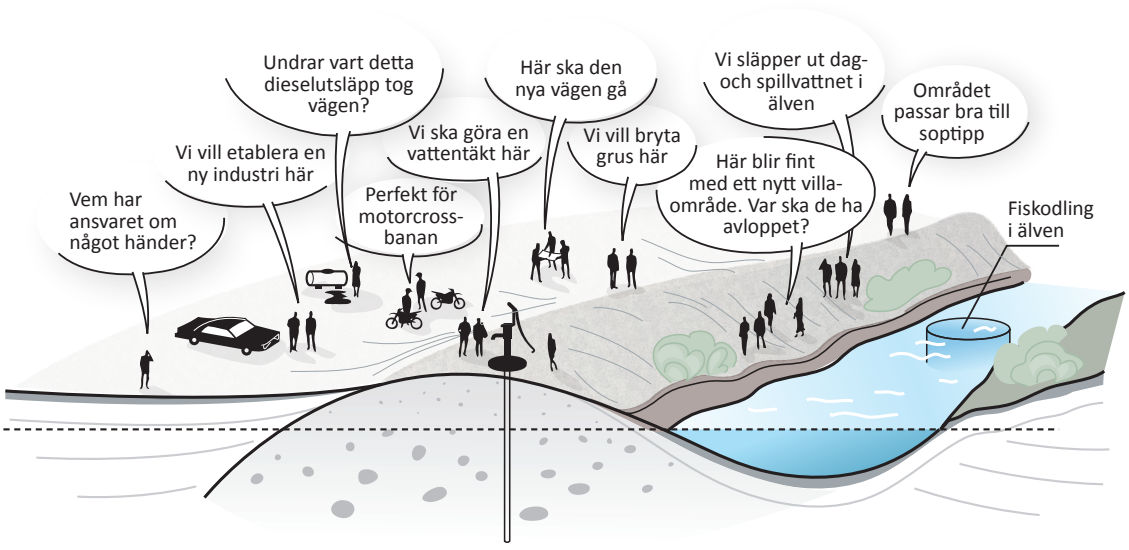
MÅL OCH SYFTE

Syftet med undersökningarna inom Närkeslätten är att öka och förbättra den geologiska kunskapen om jordlagrens och berggrundens uppbyggnad för att kunna identifiera och avgränsa områden med förutsättningar för större grundvattenuttag. Vidare är målsättningen med undersökningen att beskriva de olika jord- och berglagrens uppbyggnad i tre dimensioner.

SGUs mål är att den insamlade informationen och erhållen kunskap ska kunna användas som geologiskt och hydrogeologiskt bedömningsunderlag av Örebro, Lekeberg, Kumla, Hallsberg och Askersunds kommuner, Länsstyrelsen Örebro, berörda vattenmyndigheter, konsulter samt Mark- och miljödomstolen i anknytning till ärenden som berör ett flertal frågor (fig. 3):

- planering av kommunal dricksvattenförsörjning och utformning av vattenskyddsområden,
- planering och tillsyn av brunnar för enskild vattenförsörjning och enskilda avlopp,
- vattenförvaltningsarbete och vattenförsörjningsplaner,
- exploateringsfrågor, till exempel gällande undermarksplanering.

SGU har dessutom som långsiktigt syfte att utvärdera undersökningsmetodikens användbarhet för att öka kunskapen om jordlagrens och berggrundens uppbyggnad samt grundvattnets förekomst i olika delar av Sverige. Det gäller i första hand områden med sedimentär berggrund men även möjligheten att använda metoden i områden med urberg. I dagsläget koncentrerar SGU insatserna till sådana områden som haft återkommande problem med grundvattenbrist, på grund av liten grundvattenbildning (nederbörd), och till områden med stora dricksvattenbehov och brist på grundvatten för sin dricksvattenförsörjning.



Figur 3. Basen för en hänsynsfull samhällsplanering är ett tillförlitligt geologiskt underlag. Underlaget krävs för en långsiktigt hållbar användning, för bevarande och skyddande av viktiga vattenresurser.

GENOMFÖRDA UNDERSÖKNINGAR OCH UNDERLAGSDATA

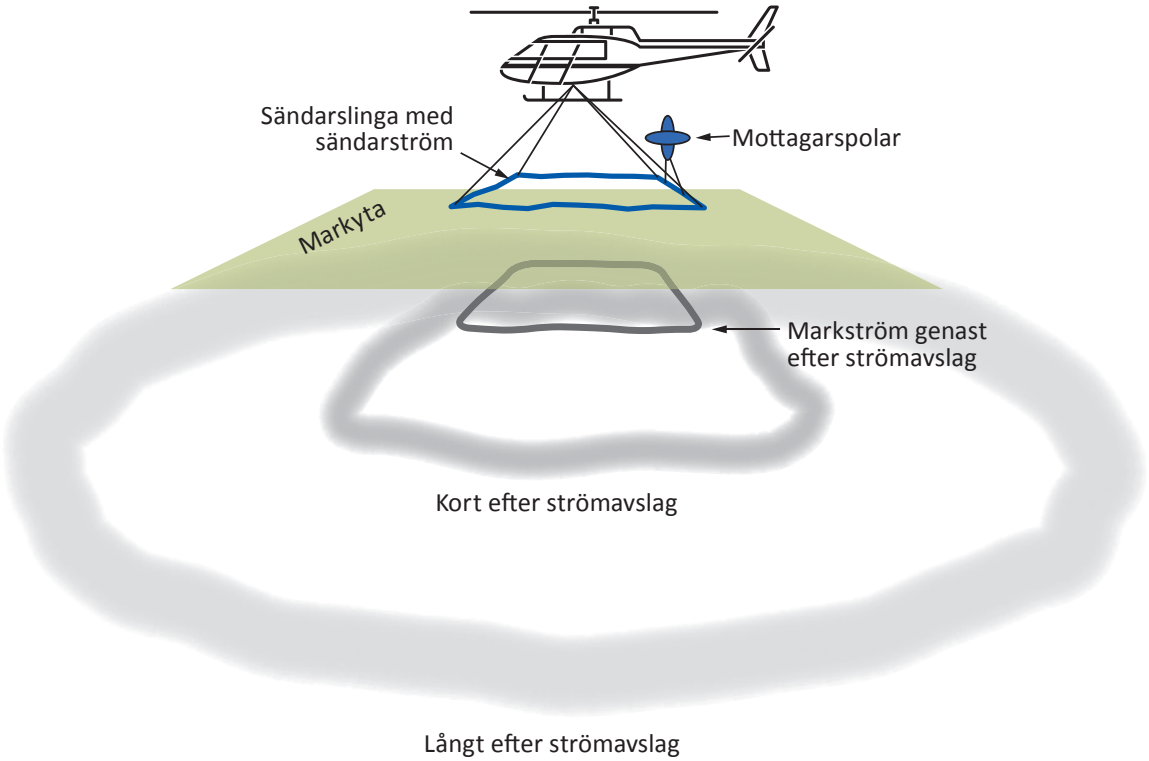
SkyTEM

SkyTEM är benämningen på ett helikopterburet mätsystem som utvecklats i Danmark med syfte att kartlägga grundvattenförekomster med hjälp av ATEM (Airborne Transient Electromagnetic; Sørensen & Auken 2004). SkyTEM är också namnet på det företag som utfört mätningarna inom Örebroområdet. ATEM är en geofysisk mätmetod där en kraftig ström skickas ut i en kabelslinga som sedan slås av momentant. När strömmen slås av i kabelslingan induceras en ström i marken som utbreder sig koncentriskt nedåt och utåt. Strömmen i marken orsakar ett magnetiskt fält som registreras i en mottagarspole (fig. 4). Styrkan på fältet och hur snabbt det avklingar är beroende av markens elektriska ledningsförmåga.

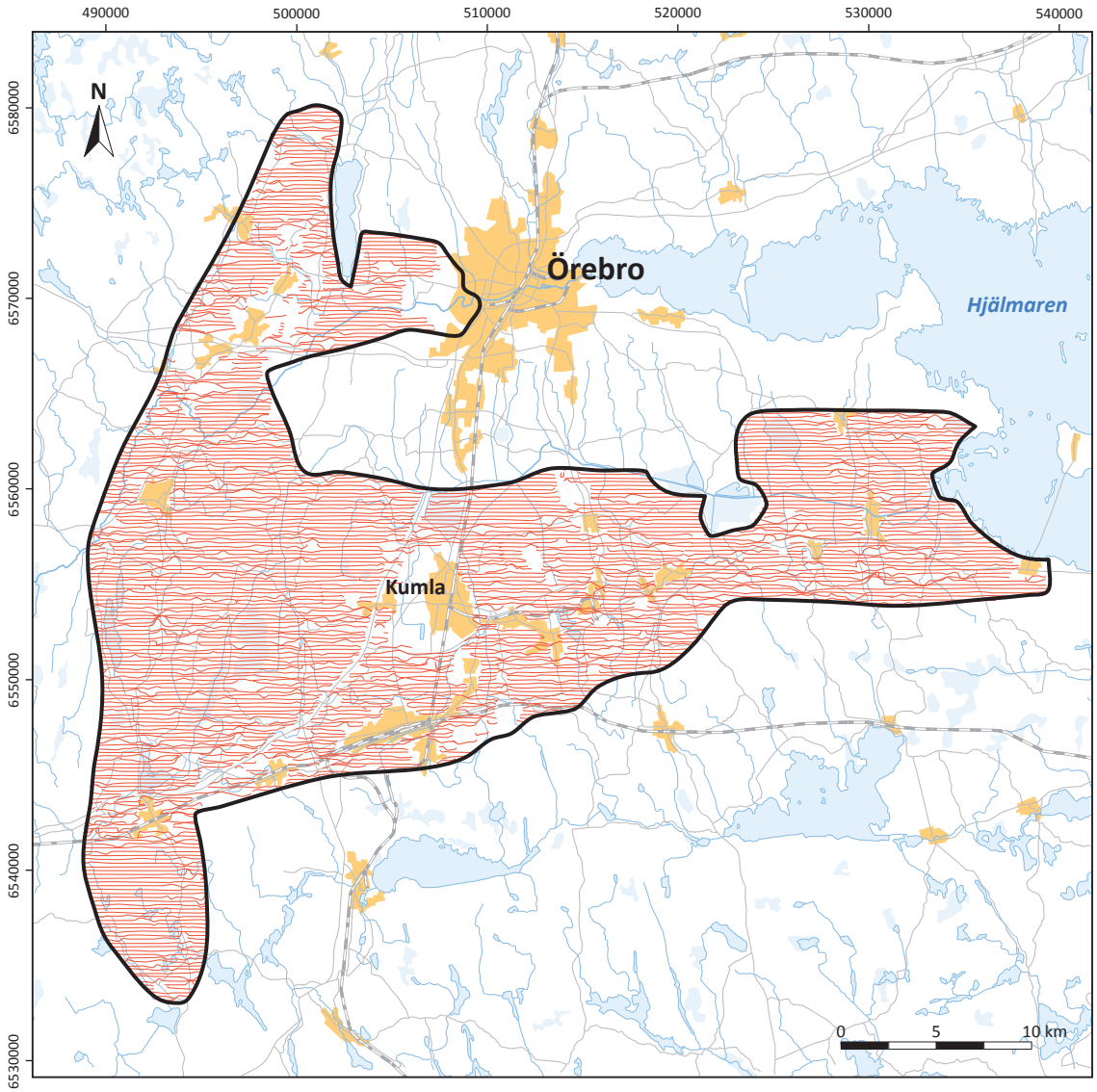
Mätresultaten presenteras vanligtvis som elektrisk resistivitet, det vill säga motstånd att leda ström, och anges i enheten ohm-meter (ohmm). Variationerna av den elektriska resistiviteten i jordlagren och berggrunden beror framför allt på skillnader i porositet, vattenhalt och lerhalt. Vattnets salthalt är också av betydelse eftersom salt grundvatten markant sänker den elektriska resistiviteten.

Mätningarna utförs på 30–50 m höjd över markytan med en sändarram försedd med mottagarspolar som hänger under helikoptern (fig. 4). 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 från markförhållandena.

Mätningarna inom Örebroområdet utfördes under 14 dagar mellan den 16 och 30 juni 2018 (SkyTEM 2018) längs öst–västliga flyglinjer med ca 200 m avstånd. Totalt insamlades omkring 3 800 linjekilometer data inom ett område på 800 km^2 (fig. 5). Eftersom det inte är



Figur 4. Grundprincipen för mätsystemet och strömutbredning i marken. Ramens storlek är ca 30 × 15 m.



Figur 5. Undersökningsområdet med flyglinjer där ATEM-data samlats in.

tillåtet att flyga med mätutrustningen över tät bebyggelse har detta krävt en anpassning av läget för mätlinjerna. Under flygningarna sker även anpassningar både i horisontell och vertikal position av säkerhetsskäl för att undvika skog, kraftledningar, järnvägar m.m. Piloten undviker även att flyga över lösgående djur (exempelvis hästar) som kan bli skrämda av en helikopter med sin lågt hängande mätram.

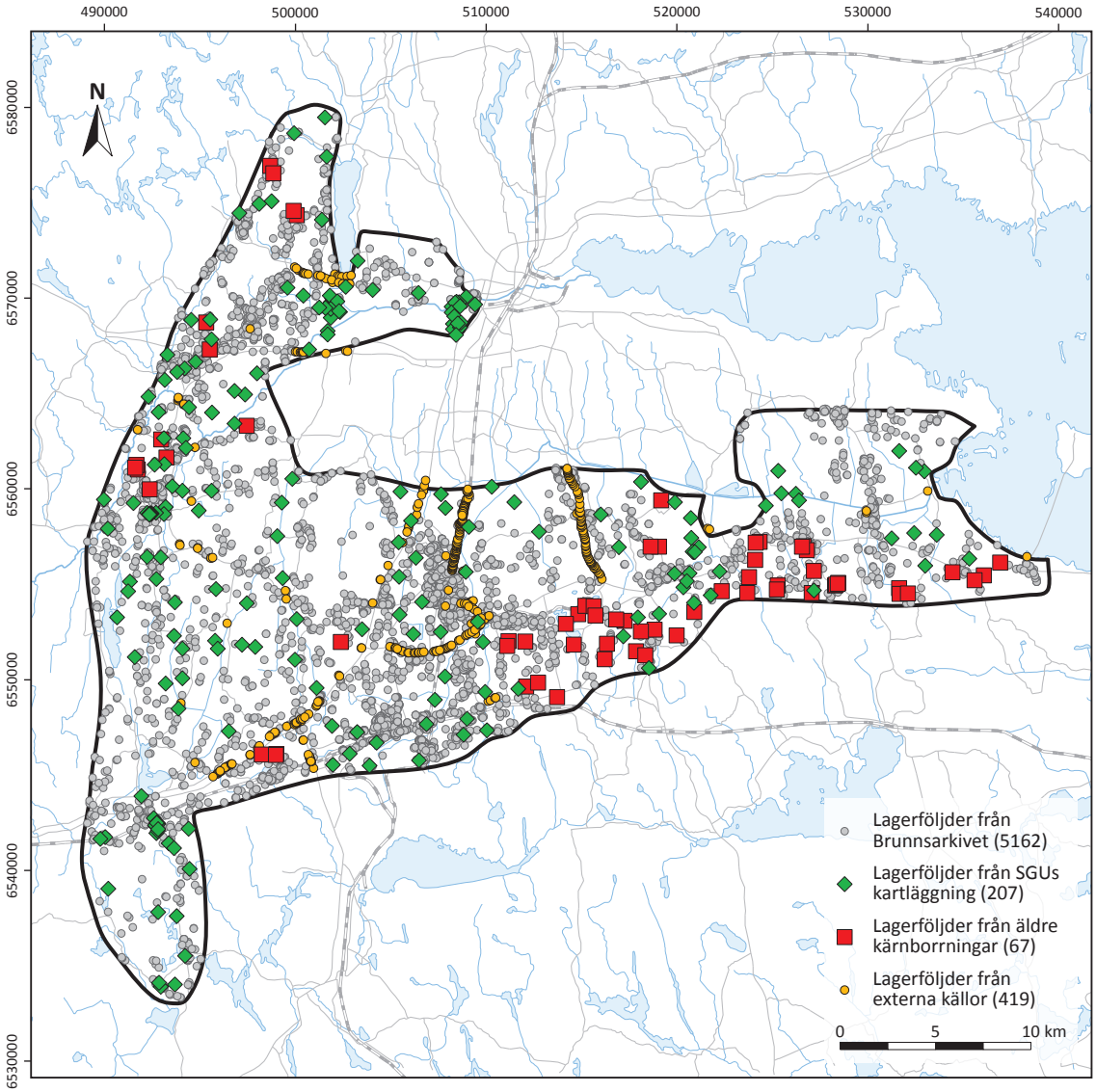
Insamlade data har bearbetats och modellerats i programvaran Aarhus Workbench (Aarhus GeoSoftware). Vid bearbetningen rensas störda data som är påverkade av olika typer av infrastruktur som kraftledningar, elstängsel och järnväg bort. Beräkningsmetoden som används för att gå från insamlade data till resistivitetsmodell kallas inversion. Den metod vi använt bygger på ett antagande att resistiviteten endast varierar med djupet, en så kallad endimensionell inversion (1D-inversion). Det vill säga man antar att jordlagren och berggrunden utgörs av horisontella lager, vilket oftast stämmer bra överens med geologin inom områden med sedimentär berggrund. Dock bör man vara medveten om att i områden med till exempel förkastningar och snabba laterala förändringar så kan resistivitetsmodellerna visa en felaktig resistivitetsfördelning eftersom antagandena om endimensionalitet inte är

uppfyllda. Den inversionsmetod som använts är en ”mjuk” metod som ger gradvisa övergångar av resistiviteten mellan olika lager vilket har fördelen att man får ett bra resultat i de flesta geologiska miljöer. Nackdelen med metoden är att det kan vara svårt att identifiera exakta lagergränser.

Brunnsarkiv och borrningar

Brunnsarkiv och lagerföljdsdata

Information om jord- och berglagerföljder har hämtats från SGUs databaser. De flesta observationer av lagerföljder kommer från Brunnsarkivet som innehåller borrprotokoll från framför allt borrningar för enskild vattenförsörjning och geoenergi. Totalt har information från 5162 brunnar i Brunnsarkivet och 206 sonderingsborrningar från SGUs jord- och grundvattenkartering ingått i underlaget (fig. 6). Dessutom har uppgifter från 419 borrningar från Trafikverket, merparten längs väg och järnväg, använts vid tolkningen. Den geografiska noggrannheten för brunnsuppgifter kan ha en positionsosäkerhet på över



Figur 6. Borrningar från SGUs databaser samt externa källor som använts som underlag vid tolkningen.

200 m. Kvaliteten på inhämtat underlag om lagerföljder varierar även stort beroende på borrningens syfte. En borrning från SGUs jordartskartering har i regel pålitlig information för i princip varje meter av jordlagerföljden medan det vid en borrning för en energibrunn endast finns djupuppgifter för övergången mellan jord och berg.

Inom undersökningsområdet finns även äldre kärnborrningar som utförts inom tidigare SGU-projekt, främst i samband med alunskifferundersökningar på 1940-talet (Westergård 1940). Lagerföljdsuppgifter från dessa borrningar har tidigare enbart funnits beskrivna i rapporter eller i SGUs centralarkiv. Dessa rapporter har nu digitaliserats och har, tillsammans med information från prospekteringsborrningar utförda av privata bolag, ingått i underlaget. Totalt har 67 kärnborrningar i berggrunden ingått som underlag vid tolkningen (fig. 6).

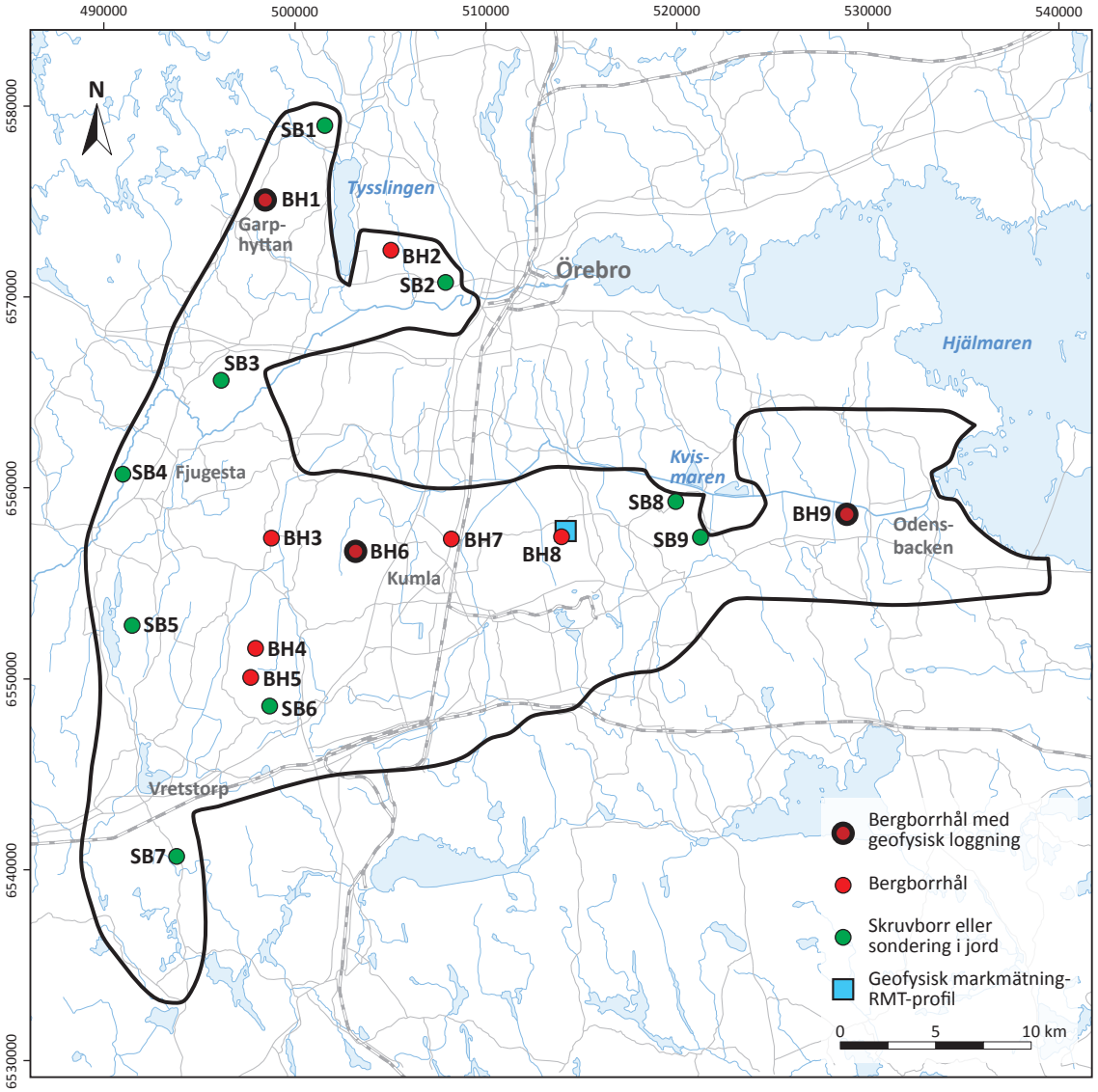
I arbetet med att ta fram en enhetlig lagerföljdsbedömning har en sammanslagning och förenkling av de hundratals olika lagerföljdsuppgifter och benämningar som finns i databaserna gjorts.

Utförda jord- och bergborrningar

SGU har utfört nio nya jordborrningar inom området (fig. 7, tabell 1). De tekniker som använts är skruvborrning och slagsondering. Vid skruvborrning tas ett jordprov upp under borrningen och jordmaterialet bestäms okulärt i fält. Slagsondering används när skruvborren inte kommer igenom jordlagren.

Tabell 1. Utförda jord- och bergborrningar.

Nr	Namn/ID	Totaldjup (m u.m.y.)	Jorddjup (m)	Uppskattad vattenmängd (liter/tim)	Primärt syfte, kommentar
BH 1	Egersta	201	18	10 000	Borra genom hela den sedimentära lagerföljden: kalksten, alunskiffer, lerskiffer och sandsten. Geofysisk loggning.
BH 2	Gräve	64	21	3 600	Bestämma sandstenens mäktighet.
BH 3	Luggavi	31	16	1 000	Uppskatta vattenmängd. Bestämma sandstenens mäktighet.
BH 4	Glippsta	60	15	800	Bestämma sedimentär lagerföljd (förekomst av lerskiffer).
BH 5	Bostället	55	30	3600	Uppskatta vattenmängd. Borrad vid förkastningszon.
BH 6	Vallersta	121	7	500	Bestämma sandstenens mäktighet. Geofysisk loggning. Grundvattenstation: Kumla_1.
BH 7	Säbylund	46	22	3500	Uppskatta vattenmängd. Borrad vid förkastningszon. Grundvattenstation: Kumla_2.
BH 8	Ekeby	31	6	Inget vatten	Bestämma sandstenens mäktighet.
BH 9	Valsta	201	11	3 600	Uppskatta vattenmängd. Bestämma sandstenens mäktighet. Geofysisk loggning. Grundvattenstation: Askersby_1.
SB 1	BMW196544	10			Undersöka förekomst av isälvsmaterial.
SB 2	BMW196543	10			Undersöka förekomst av isälvsmaterial.
SB 3	BMW196545	7			Undersöka förekomst av isälvsmaterial.
SB 4	BMW196548	14			Undersöka förekomst av isälvsmaterial. Grundvattenstation: Fjugesta_1.
SB 5	BMW196546	3			Bestämma jorddjup samt jordlagerföljd i drumlin.
SB 6	BMW196547	5			Bestämma jordlagerföljd.
SB 7	BMW196542	23		Inget vatten	Undersöka förekomst av isälvsmaterial.
SB 8	BMW196540	14			Bestämma jordlagerföljd samt provta gyttjejord.
SB 9	BMW196541	22		Mycket vatten	Undersöka förekomst av isälvsmaterial. Grundvattenstation: Orebro_1.



Figur 7. Sonderingar, borrningar samt geofysisk markmätning och loggning som utförts inom projektet.

Dessutom har nio undersökningsborrningar (hammarborrningar med diametern 115 mm) i jord och berg utförts (fig. 7, tabell 1). Syftet med borrningarna är att få information om lagerföljder i jordlagren och berggrunden men även information om vattenföring. Vid borrningen togs ett kaxprov varje meter i jordlagren och var tredje meter i berggrunden. Kaxproven undersöktes okulärt för en bedömning av lagerföljden för varje borrhål. Lagerföljdsinformation från borrningarna redovisas i bilaga 1 och är inlagrad i SGUs databas Brunnsarkivet och SGUs databas för jordlagerföljdsobservationer (JSTRAT). Lagerföljdsinformationen från borrningar i berg är även lagrad i SGUs borrhålsdatabas (Boho).

Tre av undersökningsborrningarna i berggrunden och två av borrningarna i jordlagren ingår nu i SGUs utbyggda Grundvattennät. I dessa borrhål är automatiska tryckgivare installerade som kontinuerligt skickar information om grundvattennivån till SGU. Historisk och aktuell grundvattennivå för dessa kan ses via SGUs kartvisare Grundvattennivåer tidsserier. De nya stationerna har beteckningarna Fjugesta_1 (SB 4), Kumla_1 (BH 6), Kumla_2 (BH 7), Orebro_1 (SB 9) och Askersby_1 (BH 9).

Figur 8. Geofysisk markmätning med RMT-metoden vid Ekeby. Foto: L. Persson.

Geofysiska borrhåls- och markmätningar

Borrhålsloggning

Geofysisk borrhålsloggning längs hela borrhålets längd utfördes i tre av de djupaste borrhålen (BH 1, BH 6 och BH 9, fig. 7). Mätningarna utfördes med mätsonder som mäter temperatur, vattnets konduktivitet, resistivitet, självpotential och naturlig gammastrålning. Dessutom användes en så kallad caliper log som mäter borrhålets diameter och form vilket bland annat kan användas som stöd för hydrogeologiska tolkningar för att identifiera sprickzoner och uppsprucket berg. Data och tolkningar från borrhålsloggningen redovisas i sin helhet i bilaga 2.

RMT

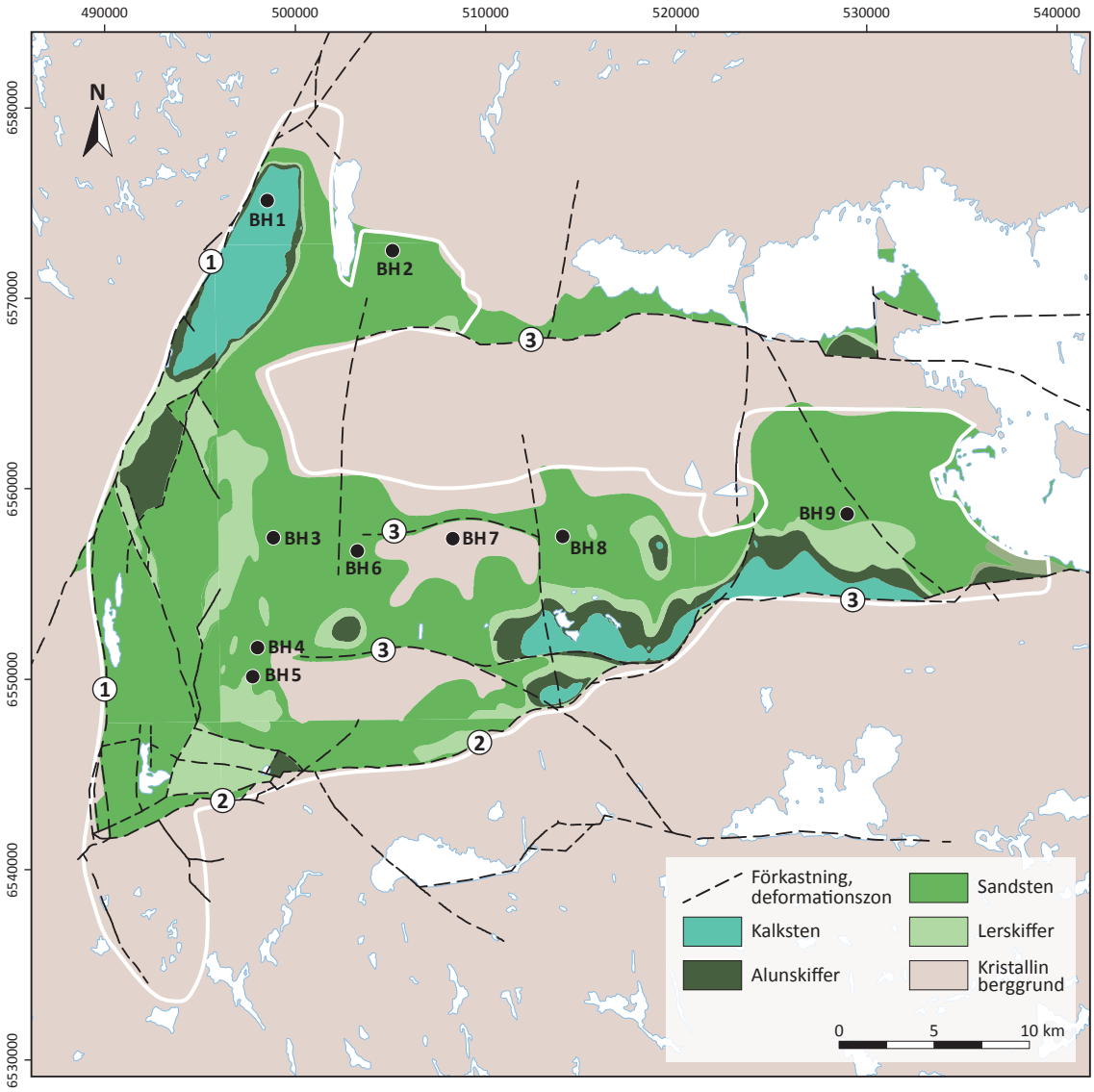
En geofysisk markprofil med radiomagnetotellurik (RMT, fig. 7 och 8) uppmättes i ett område där ATEM-data indikerade en förkastning. Syftet med undersökningen var att få en mer detaljerad information om resistivitetsfördelningen i området och att karaktärisera den möjliga förkastningen. RMT är en elektromagnetisk metod där signalen från befintliga radiosändare i frekvensområdet 10–250 kHz (VLF- och LF-bandet) används. Instrumentet (EnviroMT) är utvecklat vid Uppsala universitet (Bastani 2001). Vid mätning registreras det elektriska fältet i två mot varandra vinkelräta riktningar, och det magnetiska fältet i tre vinkelräta riktningar. Markens resistivitet kan därefter bestämmas. Lägre frekvenser tillför information från djupare nivåer medan de höga frekvenserna ger detaljerad ytnära information. RMT-metodens djupkänning är beroende av markens resistivitet.

GEOLOGISK BESKRIVNING

Berggrund

Den mest detaljerade berggrundsgeologiska kartinformation som finns i projektområdet är i skala 1:50 000. Den är framtagen under flera olika kartläggningsprojekt och publicerades mellan åren 1971 och 1997 i SGUs publikationer Af 101 (Lundegårdh & Fromm 1971), Af 102 (Lundegårdh m.fl. 1972), Af 104 (Lundegårdh m.fl. 1973), Af 164 (Wikström & Karis 1991) och Af 183 (Wikström & Karis 1997). Det innebär att den befintliga informationen i SGUs kartdatabas (Berggrund 1:50 000–1:250 000) är av varierande kvalitet beroende på olika förutsättningar vid kartläggning och kartsammanställning, även om berggrundsinformationen är publicerad i samma skala.

Berggrunden inom undersökningsområdet består av både äldre kristallin berggrund och yngre sedimentär berggrund. (fig. 9).



Figur 9. Berggrundskarta över undersökningsområdet baserad på SGUs berggrundsgeologiska kartdatabas (SGU 2020: Berggrund 1:50 000–1:250 000). De bergborrningar som utförts inom projektet har markerats i kartbilden. Siffrorna markerar de förkastningszoner som beskrivs i texten under avsnittet *Spröda deformationszoner, förkastningar och sprickor.*

Den kristallina berggrunden är 1,9–1,8 miljarder år gammal och tillhör den litotektoniska enheten Bergslagen. Den består till största delen av omvandlade vulkaniska och sedimentära bergarter samt intrusionsbergarter som till exempel granit (Stephens & Jansson 2020). Vittring och erosionsprocesser har sedan under mycket lång tid skapat en mer eller mindre plan yta, det subkambriska peneplanet. De sedimentära bergarterna är avsatta direkt på peneplanet under en period från äldsta kambrium till den mellersta delen av ordovicium (540–460 miljoner år). Den sedimentära berggrunden i området har bevarats från erosion tack vare att större delar av området sänkts i samband med rörelser längs de stora förkastningszonerna i väster och söder. I väster har den västra sidan av förkastningen rört sig uppåt och i söder har den södra sidan rört sig uppåt, vilket har bildat ett triangulärt tråg där de sedimentära bergarterna bevarats. Detta har också gjort att den sedimentära berggrunden är som mäktigast utmed förkastningsbranterna i väster och söder. Avgränsningen i norr är definierad som en pålagringskontakt.

Den sedimentära lagerföljden består av sandsten, lerskiffer, alunskiffer och kalksten. Sandstenen är äldst och ligger underst, direkt på den kristallina berggrunden, medan kalkstenen är yngst och ligger överst i de områden där den är bevarad. Sandstenen tillhör den kambriska File haidarformationen (informell benämning) och kan delas in i två delar (led), den undre Mickwitiziasandsten och den övre Lingulidsandsten. Sandstenen växellagrar med ställvis dåligt konsoliderad lerskiffer. Den geofysiska loggningen av borrhålen BH 1, BH 6 och BH 9 bekräftar tidigare undersökningar (Lundegårdh m.fl. 1973) som visar att Lingulidsandstenen är mer finkornig än den underliggande Mickwitziasandstenen. Borrkaxundersökningarna visar att sandstenen varierar i färg från grå till ljust beige. Sandstenens mäktighet varierar inom undersökningsområdet, vilket beror antingen på den kristallina berggrundsytans morfologi eller på hur mycket som har eroderat bort efter det att sandstenen bildades. Lundegårdh & Fromm (1971) anger sandstenens mäktighet till maximalt 15–18 m.

Över sandstenen påträffas en grågrön lättvittrad lerskiffer som tillhör Borgholmsformationen (informell enhet; mellankambrium). Den är 7–20 m mäktig (Lundegårdh & Fromm 1971), beroende på var i undersökningsområdet man befinner sig, och fungerar som ett tätande lager mellan den underliggande sandstenssekvensen och den överliggande alunskiffern. Dess utbredning har i tidigare undersökningar bedömts vara svår att fastställa, bland annat eftersom den är lättvittrad (Lundegårdh & Fromm 1971).

Alunskifferformationen är en geologisk enhet som består av alunskiffer och runda kalkstenslinser, så kallade orstenar. I Närke, till skillnad från många andra delar av Sverige, omfattar den även ett 10 cm tunt kalkstenslager (Forsemölla kalkstensled, informell benämning). Alunskiffern bildades ur ett finkornigt organiskt rikt slam som avsattes i ett grundhav, där sjunkande havsnivåer under senare delen av kambrium innebar att sedimentationen i det som idag är Närke upphörde under en lång period från yngre kambrium till äldre ordovicium (Lindskog m.fl. 2018). Alunskiffer är en mörkbrun och svart skiffer som skiljs från den underliggande lerskiffern genom dess färg och innehåll av organiskt material. På grund av en relativt hög uranhalt ger alunskiffern en tydlig signal i de geofysiska mätningarna av den naturliga gammastrålningen. Alunskiffer är kanske mest känd för att sitt höga innehåll av kolväten och metaller, och under andra världskriget förekom en svensk tillverkning av petroleum från alunskiffer. Idag är alunskiffer främst intressant för metaller som vanadin. Alunskifferns innehåll av uran, radon och metaller innebär också att det finns risk för påverkan på grundvattnet där den förekommer.

Kalkstenen bildades ur kalkslam som avsattes under den äldre och mellersta delen av ordovicium (485–460 miljoner år) och omfattar de informella enheterna Latorp-, Lanna- och

Holenkalksten. Kalksten påträffas idag endast i nordväst, på Latorpsplatån, och vid den södra förkastningsbranten söder om Kvarntorp (fig. 9). Vid Latorpsplatån har kalkstenen bevarats på grund av att Kilsbergen delvis skyddat området från erosion. Vid den södra förkastningsbranten finns den bevarad eftersom berggrunden sjunkit ner norr om branten vilket medfört att lagerföljden skyddats från erosion. De undre metrarna av kalkstenen, närmast kontakten mot den underliggande alunskiffern, innehåller både glaukonit och fosforit. Sedan följer en relativt homogen och normalbankad (vanligen 7–15 cm tjocka bankar), grå eller röd, lerig kalksten som är växellagrad med tunna lager av märgel (se Lindskog m.fl. 2018 för en sammanfattning).

Berggrundsytans morfologi har huvudsakligen formats genom erosion och vittring före den senaste istiden, men viss påverkan har också skett genom glacial erosion och skapat den berggrundsmorfologi som återfinns idag. Berggrundens motståndskraft mot erosion och vittring har påverkat vilken bergart som återfinns överst i dagens lagerföljd samt styrt hur tjockt det översta lagret är. Exempelvis är den yngsta bergarten i området, kalksten, till stora delar borteroderad. Den glaciala erosionen har även bidragit till utbredning och sammansättning av de jordarter som är avsatta under och efter isavsmältningen.

Spröda deformationszoner, förkastningar och sprickor

I området kan man dela in deformationszonerna i tre huvudsakliga grupper med olika riktningar: 1) huvudsakligen nord–sydlig till nordnordostlig riktning, 2) ostnordost–västsydvästlig riktning samt 3) öst–västlig riktning (fig. 9). Dessa deformationszoner består av förkastningar och uppsprucken berggrund och har stor betydelse för bergarternas utbredning inom projektområdet eftersom de ofta utgör gräns mellan den kristallina och den sedimentära berggrunden, och skiljer olika block av berggrunden som rört sig upp eller ned i förhållande till varandra. Förekomsten av öppna sprickor i anslutning till förkastningarna är också av stor vikt för grundvattnet, eftersom de kan bidra till större uttagsmöjligheter av grundvatten tack vare ökad sprickighet vilket ger förutsättningar för högre transmissivitet och magasineringsförmåga.

Närkeslättens sedimentära berggrund avgränsas i väster av det stora förkastningssystem som finns i nord–sydlig riktning (1) och i söder av det system som löper i öst–västlig (3) riktning, medan den norra gränsen mellan sedimentär och kristallin berggrund är en pålagringskontakt. Det nord–sydliga systemet (1) i väster går längs Kilsbergen och är anledningen till att dessa utgör ett höjdområde, där det västra blocket (dvs. Kilsbergen), har höjts medan det östra blocket (som omfattar Närkeslätten) sjunkit ned. Det finns idag ingen information om hur förkastningen stupar utan den är tolkad att vara helt vertikal.

Det öst–västliga förkastningssystemet (3) i söder ansluter till den nord–sydliga förkastningen (1) längs Kilsbergen. Systemet utgör den norra kanten av den horst som omfattar större delen av Sörmland (Sörmlandshorsten, informellt namn; Tirén 1993). Här har det norra blocket (dvs. Närkeslätten) sänkts och det södra blocket höjts. Det finns idag ingen information om hur förkastningen stupar utan den är tolkad att vara helt vertikal. Sannolikt är det en normal förkastning med brant stupning åt norr.

De öst–västliga förkastningarna har skapat trappsteg i berggrunden, där det norra blocket har tippat mot söder vilket innebär att det är sänkt i förhållande till det södra blocket. Detta har skapat förutsättningar för vittrings- och erosionsprocesser att blottlägga den kristallina berggrunden i ett område som annars skulle ha varit täckt av sedimentära bergarter.

Även om de tre tidigare nämnda sprickriktningarna är tydliga i den geologiska bilden och landskapet, så har tidigare undersökningar (Möller m.fl. 1971a, b, 1974) visat att den dominerande sprickriktningen i framför allt den kristallina berggrunden är nordnordväst–

sydsydostlig. Dessa sprickor har tolkats som vertikala tensionssprickor, vilka oftast är öppna och därför viktiga för förekomsten av grundvatten. Även om vertikala sprickor dominerar i det kristallina urberget förekommer horisontella öppna sprickor i området (Möller m.fl. 1971b). Uppgifter om flackt liggande sprickor förekommer även i andra delar av Sverige, bland annat från Forsmark i Uppland, där sprickor med en sprickvidd på 500 mm uppmätts (jfr. Carlsson & Christiansson 1987). Förekomsten av horisontella sprickor beskrivs även i Wahlgren m.fl. (2015). Denna typ av sprickor är dock vanligast i de övre 100 metrarna av berggrunden för att sedan upphöra mot djupet.

Sedimentära bergarter kan också innehålla öppna horisontella sprickor, där bergarten har spruckit upp längs med lagringen där det finns tunna lerlager. Uppsprickningen gynnas av förändringar i bergspänning, lokalt eller över ett större område. Det finns exempel från ett gammalt sandstensbrott i Norrtorp där ett underliggande lager böjts uppåt efter det att det ovanpåliggande lagret brutits bort (se fig. 13 i Möller m.fl. 1971b). Horisontella sprickor anses generellt uppstå som ett avlastningsfenomen under och efter den senaste deglaciationen, på grund av förändringar i den vertikala bergspänning (Möller m.fl. 1971b, Carlsson & Olsson 1982).

Jordarter

Jordarternas bildningsmiljöer efter senaste istiden

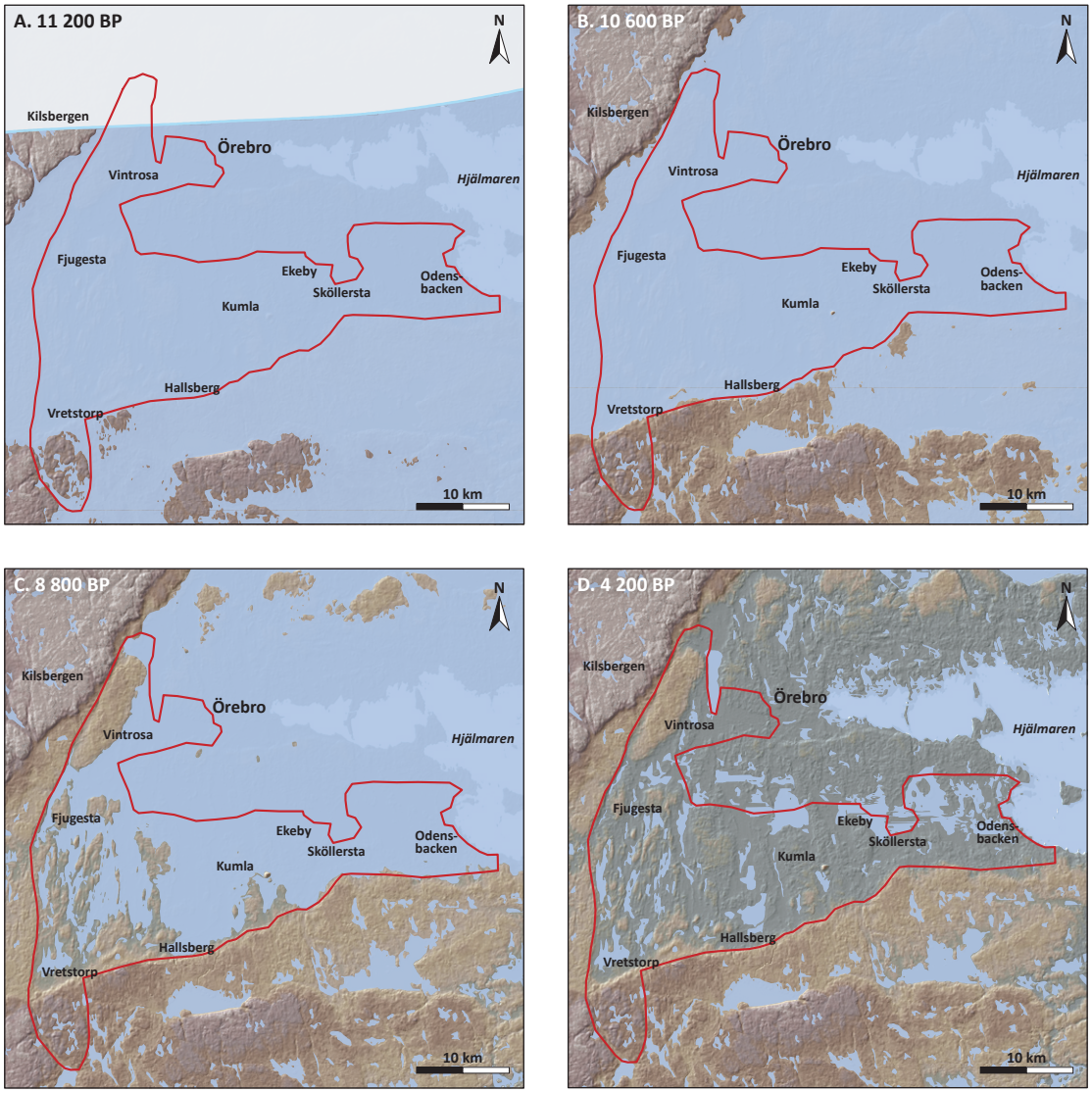
De flesta jordlagren inom undersökningsområdet avsattes under den senaste istiden och tiden strax därefter, samt i den vattenmassa som täckte området medan landet fortfarande var nedpressat av tyngden från landisen. Efter att inlandsisen smält undan från området, vilket skedde under en period av drygt 1000 år för 11 300–11 200 år sedan (Påsse & Daniels 2015), kom hela området, med undantag av den sydvästligaste delen, att utgöra en havsbotten i det s.k. Yoldiahavet (fig. 10A). Områdets högsta kustlinje (HK) utbildades av Yoldiahavet.

HK är ur jordartssynpunkt en viktig gräns. Nedanför denna nivå förekommer framför allt finkorniga sediment som glaciala och postglaciala leror. HK utgör även den översta nivån till vilken vågorna bearbetat och omlagrat tidigare avsatta jordarter. På grund av en olikformig landhöjning vid isavsmältningen är HK belägen på lägre nivå i södra delen än i den norra. I Snavlundaområdet i den sydligaste delen av undersökningsområdet ligger HK på en nivå av 142 m ö.h. medan HK på Kilsbergets östsluttning i den norra delen av undersökningsområdet ligger på ca 163 m ö.h.

Yoldiahavet övergick till den så kallade Ancylussjön för ca 10 600 år sedan (fig. 10B). Detta insjöstadie varade i ca 1 800 år. För omkring 8 800 år sedan återuppstod förbindelsen med Västerhavet igen och Littorinahavet kom att täcka området (fig. 10C). Littorinahavet övergick successivt till Östersjön. Undersökningsområdet reste sig sakta ur den havsvik som sträckte sig från Östersjöbäckenet in över undersökningsområdet. För ca 4 200 år sedan var i stort sett hela området torrlagt och ungefär vid denna tidpunkt avskildes Hjälmaren från Östersjön (fig. 10D).

Jordartskartläggning i området

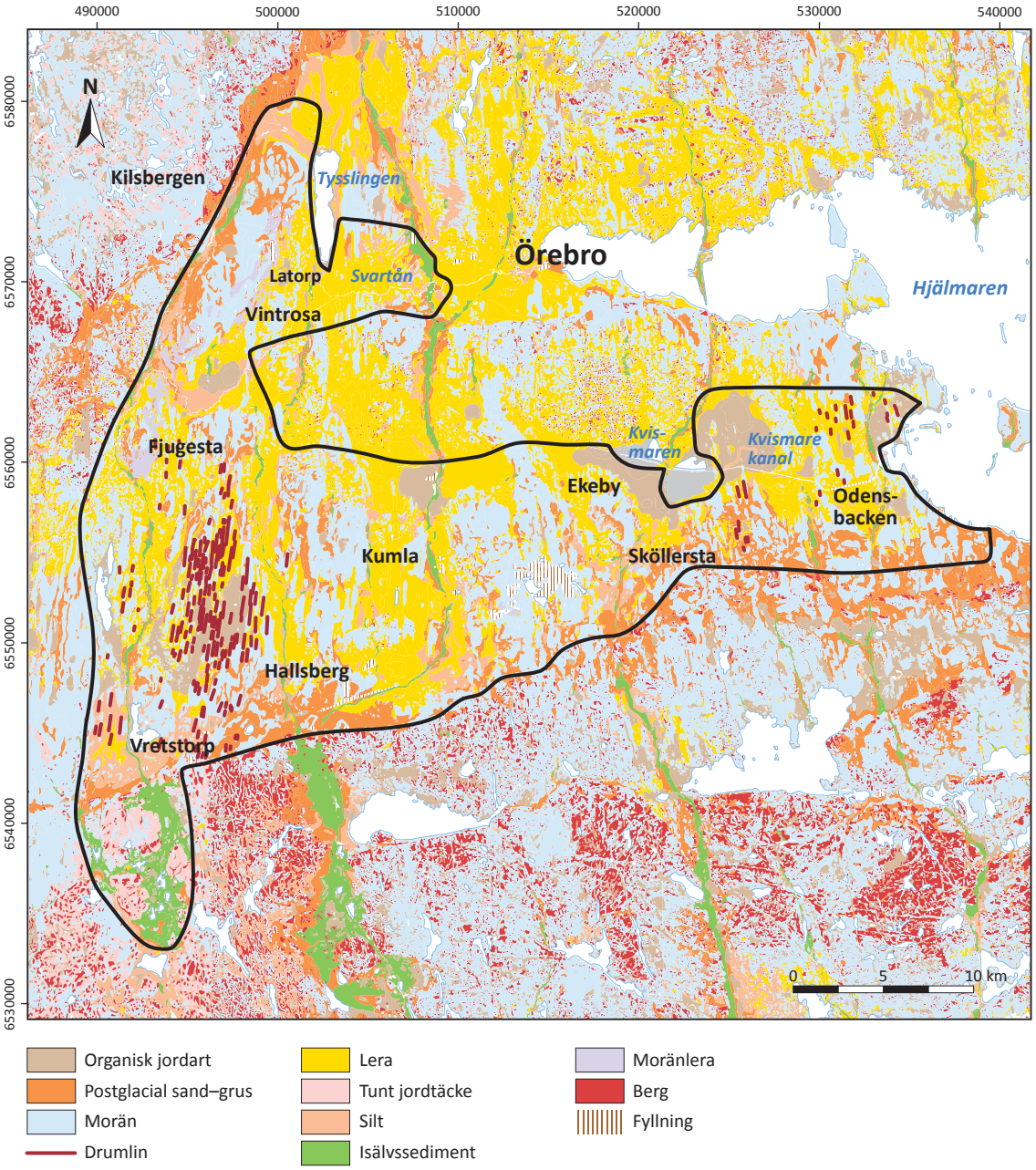
Ungefär 90 procent av området har kartlagts av SGU i skala 1:50 000, från slutet av 1960-talet fram till i mitten av 1980-talet, och omfattar kartbladen Örebro NV, SV och SO samt Karlskoga SO (Magnusson 1970, Fromm 1972, Magnusson & Lundegårdh 1972, Eriksson 1979). Den kartläggningsmetod som använts innebär en noggrann fältundersökning av området. Resterande 10 procent (fig. 11) är karterade på en mer översiktlig nivå i skala 1:100 000 inom det topografiska kartbladet Askersund NO på 2000-talet. Denna



Figur 10. Paleogeografisk utveckling. **A.** Undersökningsområdet blev isfritt ca 11 200 år före nutid och täcktes då av det så kallade Yoldiahavet. **B.** För ca 10 600 år sedan isolerades Östersjöbäckenet och istället kom Ancylussjöns vatten att täcka området i ca 1 600 år. **C.** 8 800 före nutid var det Littorinahavet/Östersjön som till stora delar täckte området. **D.** För ca 4 200 år sedan hade Östersjöns vatten dragit sig tillbaka från området. Röd polygon visar undersökningsområdet. BP= Before Present (före nutid). Relief i bakgrunden från Lantmäteriets höjddata.

kartering innebär att samtliga vägar i området körs med bil och att jordarterna okulärt bedöms kontinuerligt i kombination med jordartsbestämning längs vägarna. Detta medför att relativt stora ytor mellan vägarna inte har fältkontrollerats. Dessa ytor har tolkats med hjälp av flygbilder och äldre jordartskartor.

Under 2019 uppgraderades jordartskartan (fig. 11) huvudsakligen med användning av Lantmäteriets laserskannade höjddata i kombination med ett antal fältkontroller. Uppgraderingen innebär att avgränsningen mellan olika jordarter blivit betydligt mer exakt då upplösningen på höjddata medger en noggrannhet på meternivå. En mängd formelement, såsom strandvallar, moränryggar och drumliner, framträder ofta tydligt i höjddata men kan vara mycket svåra att se i fält. Identifieringen av dessa bildningar bidrar till ökad kunskap om den jordartsgeologiska bildningsmiljön vilket i sin tur medför att tolkningar av



Figur 11. Uppgraderad jordartskarta över undersökningsområdet med förenklad symbolisering (SGUs jordartsgeologiska kartdatabas, Jordarter 1:25 000–1:100 000). Området innanför polygonen med svart begränsningslinje är uppgraderad till en presentationsskala på 1:25 000. Området i sydväst med blå begränsningslinje är uppgraderad till en presentationskala på 1:50 000.

jordlagerföljder och eventuella vattenförande skikt förbättras. SGUs uppgradering innebär att presentationsskalan för den mer detaljerade informationen nu är 1:25 000 mot tidigare 1:50 000 samt 1:50 000 mot tidigare 1:100 000 för den mer översiktliga informationen.

Jordarternas utbredning

Jordartsfördelningen inom området är relativt heterogen och domineras av lera och morän (fig. 11). Bildningar som inlandsisen skapade, t.ex. drumliner, ändmoräner, strandvallar och åskrön på isälvavlagringar, är vanligt förekommande.

Moränen i området består huvudsakligen av sandig och lerig morän eller moränlera som avsattes mer eller mindre kontinuerligt av inlandsisen då den avsmälte från området. På många platser överlagras lerig morän av sandig morän. Då större delen av området är beläget under HK har moränen i olika grad utsatts för vågornas svallning med en mer eller mindre påtaglig ursköljning och omlagring av ytliga lager som följd. Moränens mäktighet varierar kraftigt, sannolikt beroende av den underliggande berggrundens uppbyggnad och morfologi. Exempelvis är moränens mäktighet endast ett par meter på kalkstensplatån vid Latorp medan i området söder därom har moränmäktigheter på mer än 20 m konstaterats.

Moränens kornstorleks- och bergartssammansättning präglas inom många områden av den lokala berggrunden och den kan därför grovt delas in i urbergsmorän, sandstensmorän, alunskiffermorän och lerstensmorän. De olika moräntyperna har olika egenskaper där exempelvis lerstensmoränen karaktäriseras av högt lerinnehåll och en hård till mycket hård packningsgrad. Den hårda packningsgraden medför bland annat att det vid borrningar kan vara svårt att avgöra om det är morän eller berg som undersöks, vilket kan påverka tolkning av jorddjupet.

Tunna moränlager, 0,5–1 m, på glacial lera har konstaterats i de västra delarna av undersökningsområdet, bland annat vid Fjugesta och vid Ugglebo, 8 km söder om Fjugesta (Ericsson 1979). Olika bildningar av morän förekommer rikligt. Vanligast är ändmoräner av DeGeer-typ, som bildats under vattenytan i sprickor parallella med den avsmältande iskanten, dvs. tvärs isens rörelseriktning. De är generellt ett par hundra meter långa och upp till fem meter höga. Ofta döljs de i olika grad av finkorniga sediment (lera och silt).

Sydost om Fjugesta finns ett av landets mest välutvecklade drumlinlandskap. Drumlinerna återspeglar den nord–sydliga isrörelseriktningen inom undersökningsområdet. Längden på drumlinerna varierar från något hundratal meter upp till nästan två kilometer. Drumlinerna är ibland uppbyggda runt en kärna av berg eller runt en skolla.

Inom undersökningsområdet har man identifierat skollor som består av stora stycken eller skivor med sandsten eller alunskiffer som brutits loss av inlandsisen och som transporterats tillsammans med moränen en kortare sträcka. Skollorna har ingen egen beteckning på jordartskartan utan förs generellt till moränen men kan undantagsvis ha klassats som sedimentärt berg.

Isälvsavlagringarna avsattes av inlandsisens smältvatten i direkt anslutning till inlandsisen, i isälvstunnlar under isen, ovanpå isen eller framför iskanten. Isälvssediment är oftast skiktade och välsorterade. Sand och grus är de dominerande kornstorlekarna, men såväl sorteringsgrad som kornstorlek kan växla inom samma avlagring. Isälvsavlagringarna har ofta karaktäristiska ytformer som åsar, deltan och kullar. Isälvsavlagringarna inom området domineras av väl avgränsade rullstensåsar i nord–sydlig riktning (fig. 11). Undantag utgörs av åsen mellan södra Sannahed och Hallsberg, som har en ungefärlig öst–västlig riktning. Längst i sydväst finns en större isälvsavlagring där materialet utanför åsarna domineras av sand. Då det förekommit kraftig svallning av isälvavlagringarna kan gränsen mellan svallsediment och isälvssediment inom vissa områden vara svårbedömd. Det kan således vara svallsediment markerat på kartan, men på djupet finns isälvssedimentet. Delar av rullstensåsarna kan även döljas av finkorniga sediment och syns därför inte på jordartskartan.

Områdets vanligaste finkorniga jordarter utgörs av lera och silt, där leran dominerar (gula områden på kartan i fig. 11). Båda jordarterna kan vara bildade både glacialt och postglacialt. Glacial lera och silt bildades då de finkornigaste partiklarna transporterades ut i öppet vatten av smältvattnet från inlandsisen och avsattes på den dåvarande bottnen. De postglaciala finkorniga sedimenten avsattes senare utan påverkan av isen i det vatten som täckte området efter deglaciationen (fig. 10). Den glaciala leran är vanligare på högre nivåer i landskapet än den postglaciala leran. Glaciallerans undre delar är ofta varvig beroende

på årstidsvariationer i samband med avsättningen. Postglacial lera och silt bildar i låglänta områden ofta ett täckande lager ovanpå glaciallera. Mäktigheten på den postglaciala leran är vanligtvis mindre än 5 m men kan lokalt vara uppemot 10 m. Den postglaciala leran innehåller ofta en del organiskt material. Om innehållet av organiskt material är högre än två respektive sex procent benämns de gyttjelera respektive lergyttja.

Postglaciala svallsediment i form av klapper (sten och block), grus och sand är vanliga i området, då större delen av undersökningsområdet är beläget under HK (fig. 11). I samband med landhöjningen efter den senaste istiden utsattes tidigare avsatta jordarter för vågornas och strömmarnas påverkan. Jordarternas ytliga delar omlagrades och avsattes som svallsediment på lägre nivåer. Förekomsten, sammansättningen och utbredningen av svallsediment är delvis nivåberoende inom området. På nivåer från HK (ca 140–165 m ö.h.) och ned till 80 m ö.h. var området fritt exponerat mot Yoldiahavet och Ancylussjön och blev kraftigt påverkat av svallningsprocesser. När svallsedimenten mellan nuvarande 80 m ö.h. och 50 m ö.h. bildades utgjorde delar av området en skärgård, och betydande svallning förekom framför allt på öar och uddar (fig. 10). Under 50-metersnivån var svallningsprocesserna generellt mindre omfattande. Svallsedimenten kan nå betydande mäktigheter, speciellt i sluttningen i undersökningsområdets södra del och vid sluttningen mot Kilsbergen. Generellt har de grövre svallsedimenten störst mäktighet. Exempelvis fanns en täkt i svallsediment norr om Hallsberg där man observerat ca 10 m stenigt svallgrus (Fromm 1972) och vid Lanna finns mäktigheter på minst fem meter (Ericsson 1979). Även svallsediment i sand kan ha mäktigheter på upp till fem meter. Inom många av svallförekomsterna är strandvallar vanliga, men även klappervallar förekommer.

Torv förekommer antingen som mossetorv eller som kärrtorv. De allra flesta av kartområdets torvmarker har uppstått genom igenväxning av sjöar, och torven underlagras därför i allmänhet av gyttja eller lera. Ett antal sjösänkningar har genomförts i området och där har det vanligtvis hunnit växa till ett tunt lager kärrtorv som överlagrar postglacial lera, gyttjelera eller gyttja. Gyttja är vanligtvis en sällsynt förekommande ytjordart men återfinns som stora ytor där sjön Kvismaren sänkts (fig. 11). I samband med att Hjälmaren sänktes med ca 120 cm under början av 1880-talet anlades Kvismare kanal (fig. 12) längs dåvarande Täljeån för att avvattna även detta område. Markoxidering i de torrlagda områdena har inneburit att marknivån sjunkit med upp till en meter och resulterat i invallade områden. Dikning och odling har omvandlat många torvmarker i dalstråk och sänkor så att bara tunna rester med torv återstår.

Figur 12. Kvismare kanal. Efter sjösänkningen på 1880-talet har stora arealer med tidigare sjöbotten kommit i ytan. Denna består till stora delar av gyttja och gyttjelera samt på dessa senare bildad torv. Foto: M. Thorsbrink.

Hydrogeologiska förhållanden och vattenförsörjning

Områdets hydrogeologi är sedan tidigare både undersökt och beskriven av SGU. Den första redogörelsen kom 1971 i vilken man beskrev grundvattnets förekomst i jord och berggrund inom kartbladet Örebro SV (Möller m.fl. 1971a, Möller m.fl. 1971b). Som en del i karteringsarbetet sommaren 1969 gjordes provborrningar, seismiska undersökningar, nivåmätningar i brunnar och kapacitetsmätningar i källor. Resultatet från kartläggningen av grundvattenförhållandena redovisades som ett övertryck på jordartskartan så man i samma karta ser såväl jordarter som isolinjer för grundvattennivåer och bedömda grundvattendelare. I samma karta redovisas även gränser mellan olika bergarter, förkastningar och sprickor. Därefter kartlades också kartbladen Örebro NO, NV samt SO med liknande angreppssätt varav SO och NV berör det nu undersökta området (Möller m.fl. 1971c, Möller m.fl. 1971d, Möller m.fl. 1974a, Möller m.fl. 1974b). I anslutning till arbetet med dessa fyra kartblad gjordes även en sammanställning av de hydrogeologiska förhållandena inom Närkeslättens sedimentära berggrund (Möller m.fl. 1976). Efter de äldre kartbladen genomfördes ytterligare kartsammanställningar och flera uppdrag har gjorts i SGUs regi (se bl.a. Pousette m.fl. 2000, Müllern 2009).

Beskrivningen av hydrogeologiska förhållandena inom undersökningsområdet baseras till största delen på dessa äldre beskrivningar.

Grundvattentillgång i jordlagren

De största grundvattentillgångarna finns i de isälvsavlagringar med nord–sydlig riktning som förekommer inom undersökningsområdet (fig. 11 och fig. 13). Totalt finns sex större åsstråk samt några mindre sidoavlagringar. Samtliga avlagringar är avsatta under Högsta kustlinjen vilket innebär att de utsatts för svallning och att de delvis överlagrats av finkorniga sediment. Detta innebär att det i delar av magasinen råder täta förhållandena och att vissa delar även är artesiska, det vill säga grundvattenytan har en trycknivå som ligger ovan markytan.

Längst i väster inom undersökningsområdet löper Askersundsåsen (fig. 13). Därefter kommer Hardemoåsen som i norra delen av undersökningsområdet delar upp sig i två åsgrenar och som i söder ansluter till Hallsberg-Kumlaåsen.

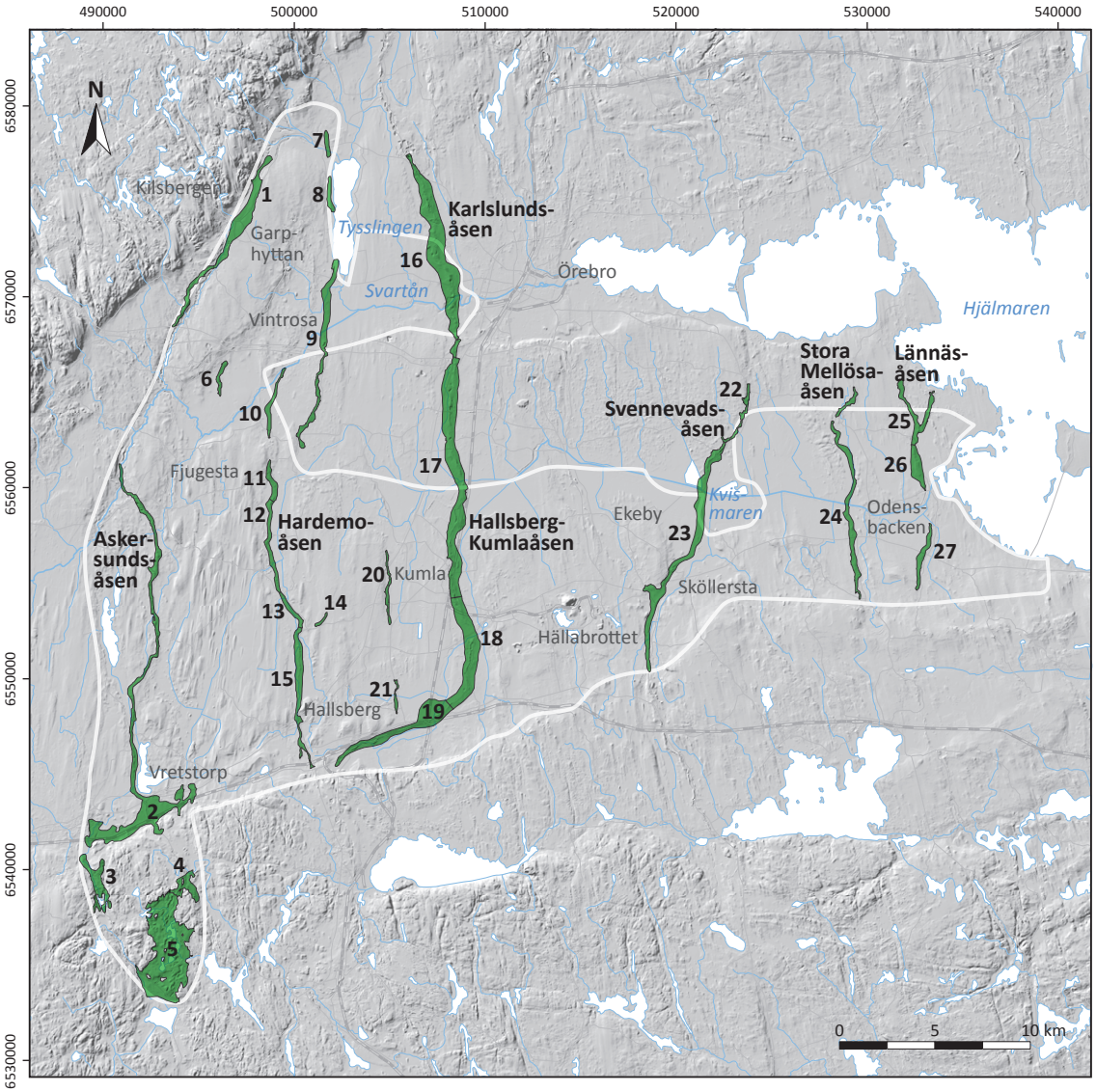
Hallsberg-Kumlaåsen går vid Hallsberg i en sydväst–nordostlig riktning för att sedan övergå i en rakt nord–sydlig riktning som passerar genom Kumla för att sedan övergå att kallas Karlslundsåsen. Sydväst om Örebro avviker en sidogren mot nordväst och passerar igenom Örebro. Vidare österut finns Svennevadåsen (även kallad Glanshammarsåsen), Stora Mellösaåsen och allra längst i öster inom undersökningsområdet finns Lännäsåsen.

Samtliga större åsavlagringar inom undersökningsområdet är avgränsade som grundvattenförekomster (Länsstyrelsen 2020). En grundvattenförekomst omfattas av beslutade miljökvalitetsnormer rörande grundvattnets kvantitativa och kvalitativa status och att statusen inte får försämras. I figur 13 framgår läget för dessa grundvattenförekomster och en förteckning finns redovisad i tabell 2. Grundvattenförekomsterna baseras på de grundvattenmagasin som finns avgränsade i SGU 2020d. En grundvattenförekomst kan motsvara ett eller flera grundvattenmagasin eller vara en del av ett grundvattenmagasin.

Grundvattentillgång i berggrunden

Grundvatten i berggrunden förekommer inom undersökningsområdet såväl i den yngre sedimentära berggrunden som i den äldre kristallina berggrunden.

I den kristallina berggrunden beror vattengenomsläppligheten främst på förekomsten av öppna sprickor i deformationszoner. I den sedimentära berggrunden, däremot, förekommer



Figur 13. Avgränsade grundvattenförekomster (Länsstyrelsen 2020) i jordlagren inom undersökningsytan är markerade i grönt. Siffrorna hänvisar till respektive grundvattenförekomst i tabell 2.

grundvattnet också i berggrundens porsystem och längs lagergränser (Knutson & Morfeldt 2002). Detta leder ofta till större uttagsmöjligheter jämfört med den kristallina berggrunden. Dock varierar egenskaperna mellan olika sedimentära bergarter både vad gäller vattengenomsläpplighet och risk för påverkan på vattenkvaliteten. För den som vill ha en mer omfattande beskrivning av vattnets förekomst i berggrunden hänvisas till Knutson & Morfeldt (2002), Gustafsson (2009) och Wahlgren m.fl. (2015).

Sandstenen är den viktigaste akviferen för grundvattenuttag vad gäller berggrunden inom området. Men också inom sandstenen finns variationer där de understa delarna av sandstenen ofta är konglomeratrika och därför mer vattenförande (Müllern 2009). Det i kombination med att den kristallina berggrundsöverytan i regel är vittrad och ytligt uppsprucken ger att det i regel råder en bättre vattenföring i denna gränszon (Möller m.fl. 1974b). Därför rekommenderas att brunnar borras ned någon eller några meter i den kristallina berggrunden för att på så vis dra nytta av de mest vattenförande partierna i sandstenen och gränszonen mot urberget.

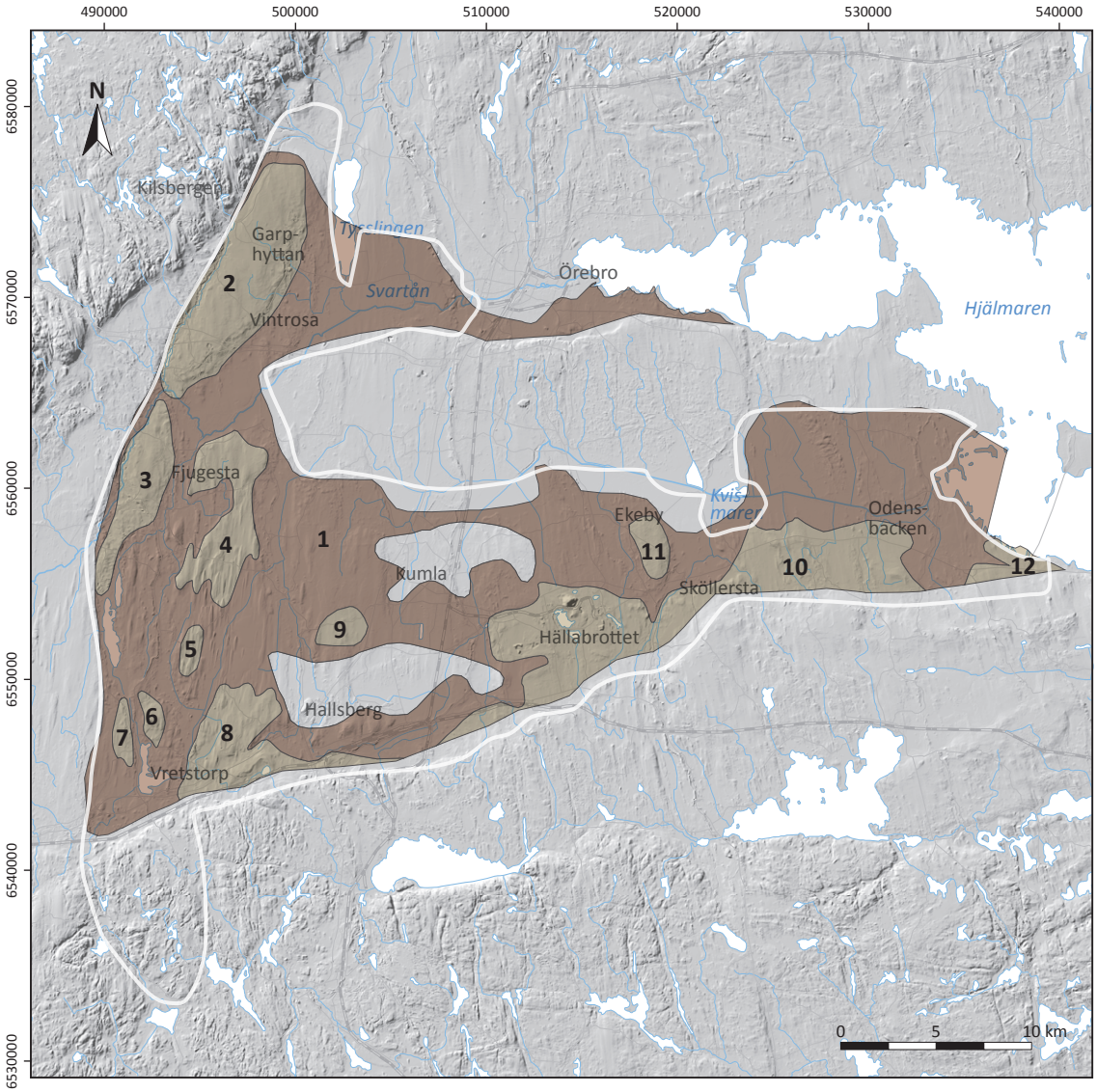
Tabell 2. Beteckning för grundvattenförekomster i jordlagren och den sedimentära berggrunden inom undersökningsområdet. Numreringen till vänster som motsvarar respektive förekomst som är markerade i figurerna 13 och 14.

Nr	Förekomster i jordlagren	ID-beteckning grundvattenförekomst
1	Askersundsåsen, Garphyttanområdet	WA18520132
2	Askersundsåsen, Området mellan Vretstorp & Fjugesta	WA90675915
3	Gallabergsåsen	WA51568476
4	Askersundsåsen, Eriksbergsområdet	WA26860908
5	Askersundsåsen, Snavlundaområdet	WA44659109
6	Ekebergaområdet	WA84953992
7	Hardemoåsen, Älgestaområdet	WA58992991
8	Hardemoåsen, Tysslingenområdet	WA94950530
9	Hardemoåsen, Norra Folkavi-Irvingsholmområdet	WA88497072
10	Hardemoåsen, Östra Granhammarområdet	WA67002512
11	Hardemoåsen, Kräcklinge-Eketorpområdet	WA93436017
12	Hardemoåsen, Höjen-Kräcklingeområdet	WA24290844
13	Hardemoåsen, Vretaområdet	WA30760756
14	Hardemoåsen, Skybergabackenområdet	WA47729447
15	Hardemoåsen, Hardemoområdet	WA52256325
16	Karlslund-Kilsåsen, Skråmstaområdet	WA52525555
17	Hallsberg-Kumlaåsen, Kumla-Mosås-Mariebergområdet	WA71962529
18	Hallsberg-Kumlaåsen, Blackstaområdet	WA72355186
19	Hallsberg-Kumlaåsen, Hallsbergområdet	WA12941173
20	Åbytorpsåsen, Åbytorpområdet	WA62732315
21	Åbytorpsåsen, Ängslyckanområdet	WA95268229
22	Svennevadsåsen, Bärsta-Restaområdet	WA22924079
23	Svennevadsåsen, Sköllerstaområdet	WA90512789
24	Stora Mellösaåsen	WA55641906
25	Lännäsåsen (Egbyåsen), Åkesbergområdet	WA10029784
26	Lännäsåsen (Egbyåsen), Segersjöområdet	WA15363624
27	Lännäsåsen, Lännäsområdet	WA59927920

Nr	Förekomster i sedimentär berggrund	ID-beteckning grundvattenförekomst
1	Närkeslätten	WA68642825
2	Garphyttan-Vintrosa	WA84253687
3	Fjugesta	WA41615814
4	Fagerlöt	WA14300570
5	Hackvad	WA86251947
6	Viby	WA52420264
7	Körtingsberg	WA40083732
8	Lybby	WA86585112
9	Julsta	WA84618696
10	Hällabrottet-Södra Odensbacken	WA61935351
11	Sköllersta	WA35747014
12	Hampetorp	WA88000109

Övriga delar av den sedimentära lagerföljden (kalksten, alunskiffer och lerskiffer) är generellt mindre vattenförande. Överlagras sandstenen av skiffer kan grundvattenbildningen till sandstenen begränsas på grund av skifferns tätande egenskaper (Möller m.fl. 1976). Dessutom kan lerskiffern i området i regel vara dåligt konsoliderad vilket medför behov av foderrör genom denna. Beträffande alunskiffern finns risk för försämrad vattenkvalitet vilket behandlas mer i avsnittet om grundvattenkemi nedan (Müllern 2009). Vid brunnsborrning bör partier med alunskiffer tätas för att minska risken för att vatten med sämre kvalitet förorenar den underliggande sandstensakviferen.

Undersökningar av områdets spricktektonik och bedömningar av vilka sprickriktningar som är mest vattenförande inom undersökningsområdet, utfördes i arbetet med de äldre kartbladen från 1971 och 1974 (Möller m.fl. 1971a, Möller m.fl. 1971c, Möller m.fl. 1974a).



Figur 14. Grundvattenförekomster (Länsstyrelsen 2020) i sedimentär berggrund inom undersökningsområdet. Siffrorna hänvisar till respektive grundvattenförekomst i tabell 2.

Resultaten baserades på flygbildstolkning, kartanalys, sprickkartering i fält, tidigare utförda geologiska arbeten samt kapacitetsuppgifter från brunnar i området. Som redan omnämnts visade dessa undersökningar bland annat på att den dominerande sprickriktningen, i framför allt den kristallina berggrunden, är nordnordväst–sydsydostlig. Dessa sprickor tolkades som vertikala tensionssprickor som oftast är öppna och därför viktiga för förekomsten av grundvatten. Vidare framgår att 70–80 procent av alla sprickor i det kristallina urberget och sandstenen står brantare än 75° (Möller m.fl. 1974). Vid brunnsborrning kan man därför öka sannolikheten att träffa på vattenförande sprickor genom att brunnen borras snett, det vill säga i vinkel mot de förmodade sprickplanen.

I de äldre beskrivningarna framhöll man också betydelsen av de i området förekommande horisontella sprickplanen (Möller m.fl. 1971b, 1976). Dessa horisontella sprickplan fungerar som en viktig förbindelse mellan de vertikala sprickorna.

Även den sedimentära berggrunden inom undersökningsområdet utgör grundvattenförekomster med beslutade miljökvalitetsnormer (fig. 14, tabell 2). De berör huvudsakligen

Grundvattenförekomst, grundvattenmagasin

Inom vattenförvaltningen används för grundvatten begreppet grundvattenförekomst. Parallellt använder SGU begreppet grundvattenmagasin för att beskriva grundvattenresursen med utgångspunkt från geologin.

Grundvattenförekomst är en avgränsad volym av grundvatten i ett eller flera grundvattenmagasin. En grundvattenförekomst är, enligt vattenförvaltningsförordningen, den minsta enheten för beskrivning och bedömning av grundvatten. Inom svensk vattenförvaltning har termen en särskild innebörd och avser de specifikt utpekade grundvattenförekomster som omfattas av rapporteringsskyldighet m.m. enligt EUs vattendirektiv. Grundvattenförekomsten kan utgöra vattnet i ett eller flera grundvattenmagasin eller i en del av ett grundvattenmagasin.

Grundvattenmagasin är en hydrauliskt avgränsad enhet av en eller flera geologiska formationer som medger uttag av grundvatten.

sandstenen och förekomstgeometrierna har baserats på de grundvattenmagasin som finns avgränsade i SGUs hydrogeologiska databas, SGUs berggrundsgeologiska kartdatabas samt uppgifter om uttagsmöjligheter i brunnar. Den mörkare ytan (1 i fig. 14 och tabell 2) utgör huvudsakligen det område inom Närkeslätten där berggrundsytan består av sandsten medan de ljusare ytorna (2–12 i fig. 14 och tabell 2) utgör grundvattenförekomster där sandstenen överlagras av lerskiffer samt ibland även alunskiffer och kalksten (jämför berggrundskartan fig. 9).

Vattenförsörjning

De större isälvsavlagringar inom undersökningsområdet, förutom Stora Mellösaåsen och Lännäsåsen, används idag för allmänna eller större enskilda uttag av grundvatten. Samtidigt ingår de kommuner som berörs av mätningarna förutom Askersunds kommun i Vätternvattenprojektet. Det innebär att deras ordinarie allmänna vattenförsörjning helt eller delvis planeras att övergå till vatten från Vättern år 2027 samtidigt som nuvarande allmänna vattentäkter sannolikt övergår till att utgöra reservvattentäkter. Detta gäller bland annat Örebros vattentäkt (Örebro kommun 2019). Även om vattentäkterna kommer att övergå till att bli reservvattentäkter så är det viktigt med god kunskap om dessa resurser så att de kan ges ett lämpligt skydd.

Askersundsåsen används idag för vattenförsörjningen i bland annat Fjugesta och Vretstorp (SGU 2020b). Här sker uttagen i den del av åsen som ingår vattenförekomsten ”Askersundsåsen, Området mellan Vretstorp & Fjugesta” med ID WA90675915. Samma åsavlagring, men längre söderut, används för vattenförsörjningen i Snavlunda (SGU 2020b). Denna del av åsen utgör vattenförvaltningsförekomsten Askersundsåsen Snavlundaområdet och har ID-benämningen WA44659109.

Karlslundslundsåsen (förekomsten Karlslund-Kilsåsen, Skråmstaområdet WA52525555) nyttjas för vattenförsörjningen i Örebro och stärks genom konstgjord grundvattenbildning. Den största delen av vattnet tas från Svartån och renas genom infiltration i Ekersåsen och Karlslundsåsen. Vattentäkten försörjer förutom Örebro tätort bl.a. Garphyttan, Vintrosa, Stora Mellösa, Lanna, Hidingebro, Ölmbrotorp och Odensbacken (Örebro kommun 2017). Samma isälvsavlagring, som söderut benämns Hallsberg-Kumlaåsen, Blackstaområdet med ID WA72355186 nyttjas idag för bl.a. Kumla och Hallsbergs vattenförsörjning (SGU 2020b). Här stärks vattentillgången genom konstgjord grundvattenbildning med ytvatten från Tisaren.

Vad gäller övriga åsavlagringar så används Hardemosåsen (delen Hardemoåsen, Norra Folkavi-Irvingsholmområdet WA88497072) och Svennevadsåsen (delen Svennevadsåsen, Sköllerstaområdet WA90512789) för större enskilda vattenuttag (SGU 2020b).

Grundvatten från den sedimentära berggrunden nyttjas för enskild vattenförsörjning, både enskilt dricksvatten och inom jordbruk. Vissa av dessa brunnar finns registrerade i SGUs Brunnsarkiv men inte alla. Bättre kunskap om förhållandena i den sedimentära berggrunden är inte bara av värde för nuvarande vattenförsörjning utan kan också ge stöd inför etablering av nya enskilda brunnar.

Grundvattenkemi

Grundvattenkvaliteten, både i jordlager och berggrund, präglas i undersökningsområdet av påverkan från lättvittrat material. Uppgifter om vattenkvalitet vid enskilda brunnar har på olika sätt samlats in till SGU sedan 1960-talet. Dessa uppgifter har sammanställts för undersökningsområdet. I tabell 3 jämförs vattenkvaliteten i enskilda brunnar inom undersökningsområdet med övriga delar av Örebro län. I tabellen redovisas 50-percentilvärde (medianvärde) och 90-percentilvärde för resultat från vattenanalyser från vattentäkter i jord (oftast grävda brunnar, men även jordborrade brunnar och källor ingår) och för bergborrade brunnar. Klassningen av brunnar i jord baseras på den jordartsgeologiska kartan. För brunnar borrade i berg har vi utöver den berggrundsgeologiska kartan även använt lagerföljdsinformation från borrningar samt information från tolkningen av ATEM-data. Det är vanligt att brunnar i sandsten (SST) slutar ett par meter ner i det underliggande urberget. Dessa borrningar har förts till sandstensgruppen eftersom huvuddelen av vattnet bedöms komma från sandstenen. Även brunnarna i kalksten och skifferberggrund (KST/Sk) går vanligen ner i sandsten.

Alkaliniteten och kalciumhalten, som kan kopplas till vittring av kalksten, är genomgående högre i undersökningsområdet än i övriga delar av Örebro län. Även sulfat- och kloridhalterna är högre vilket sannolikt kan kopplas till den sedimentära berggrunden men kan även till viss del bero på att undersökningsområdet, till skillnad från stora delar av övriga Örebro län, legat under hav efter senaste istiden. För sulfat kan lokalt även oxidation av sulfider i gyttjeleror vara en betydande källa kopplad till de sjösänkningar och annan dränering som genomförts i länet. Relativt höga halter av nitrat och även ammonium har uppmätts i brunnar i jord i undersökningsområdet vilket kan kopplas till att undersökningsområdet till stor del domineras av jordbruksmark.

I flera brunnar, såväl i jord som i berg, är järn- och manganhalterna höga vilket gäller både inom och utanför undersökningsområdet. Halterna av tungmetaller som bly, nickel och uran ligger med några få undantag under gällande riktvärden för dricksvatten (Livsmedelsverket 2015).

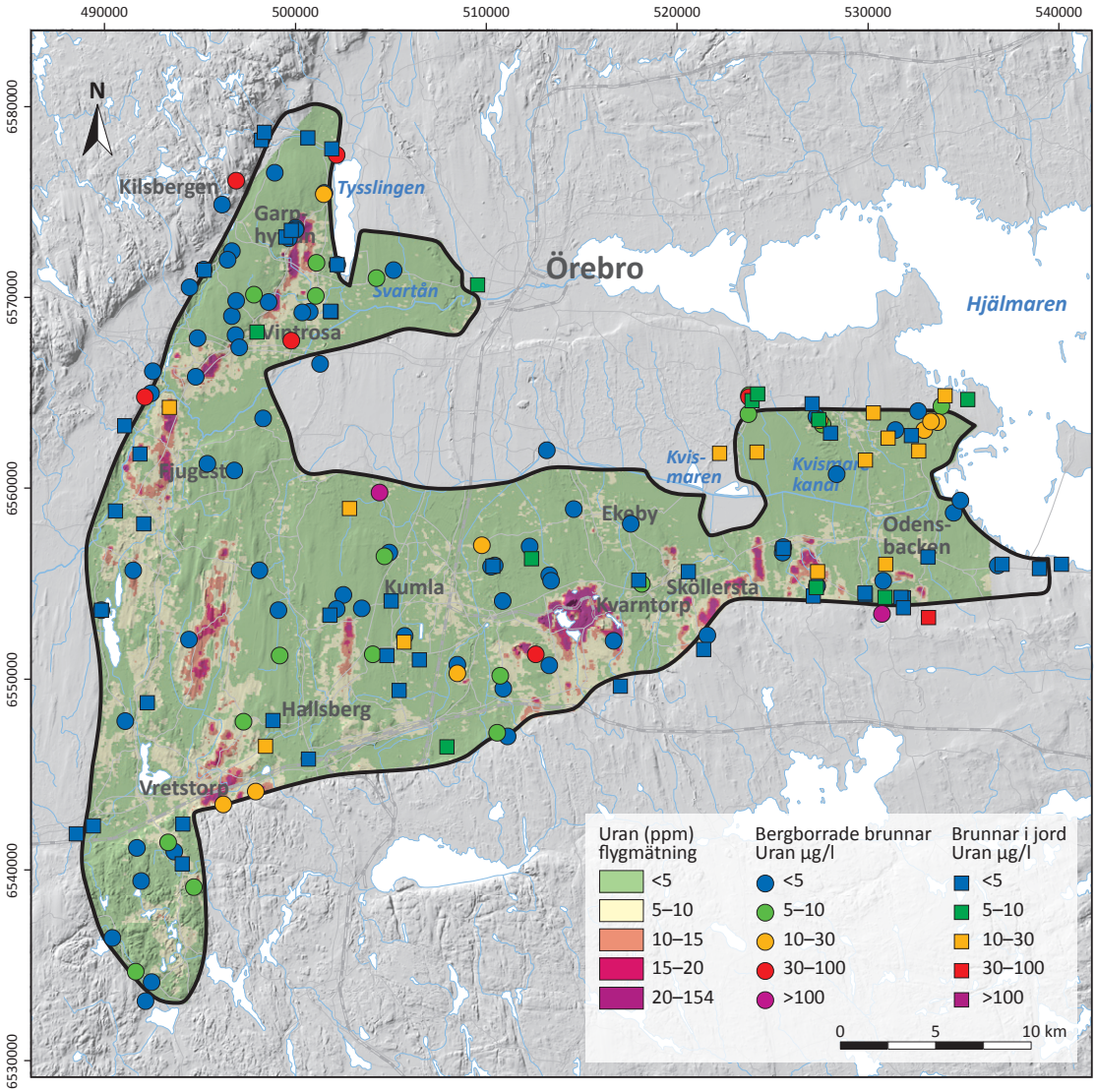
Inom projektområdet har geofysiska flygmätningar som registrerar markens gammastrålning genomförts. Dessa data samlas in inom SGUs ordinarie undersökningsverksamhet. Gammastrålningsmätningarna innehåller information om de naturligt förekommande radioaktiva isotoperna kalium-40, uran-238 och thorium-232 i markens översta decimetrar. Inom undersökningsområdet är uranhalten förhöjd i områden med alunskiffer. I figur 15 och figur 16 visas de uppmätta halterna av uran i brunnsvatten i relation till beräknad uranhalt i marken från flygmätningar. Uranhalterna i brunnsvattnet uppvisar inget påtagligt beroende av uranstrålningens intensitet, varken för bergborrade brunnar eller för brunnar i jordlagren. Dock finns få analyser av brunnsvatten inom områden där flygmätningen visar förhöjd uranhalt (fig. 15). En av de bergborrade brunnarna uppvisar en mycket

Tabell 3. Sammanställning av vattenanalyser från enskilda brunnar i Örebro län (1970–2019) uppdelat på inom respektive utanför undersökningsområdet. Antal analyser (n) och 50-percentilen (medianvärde) samt 90-percentilen. KST = kalksten, Sk = lerskiffer och alunskiffer, SST = sandsten. < = under analysens kvantifieringsgräns.

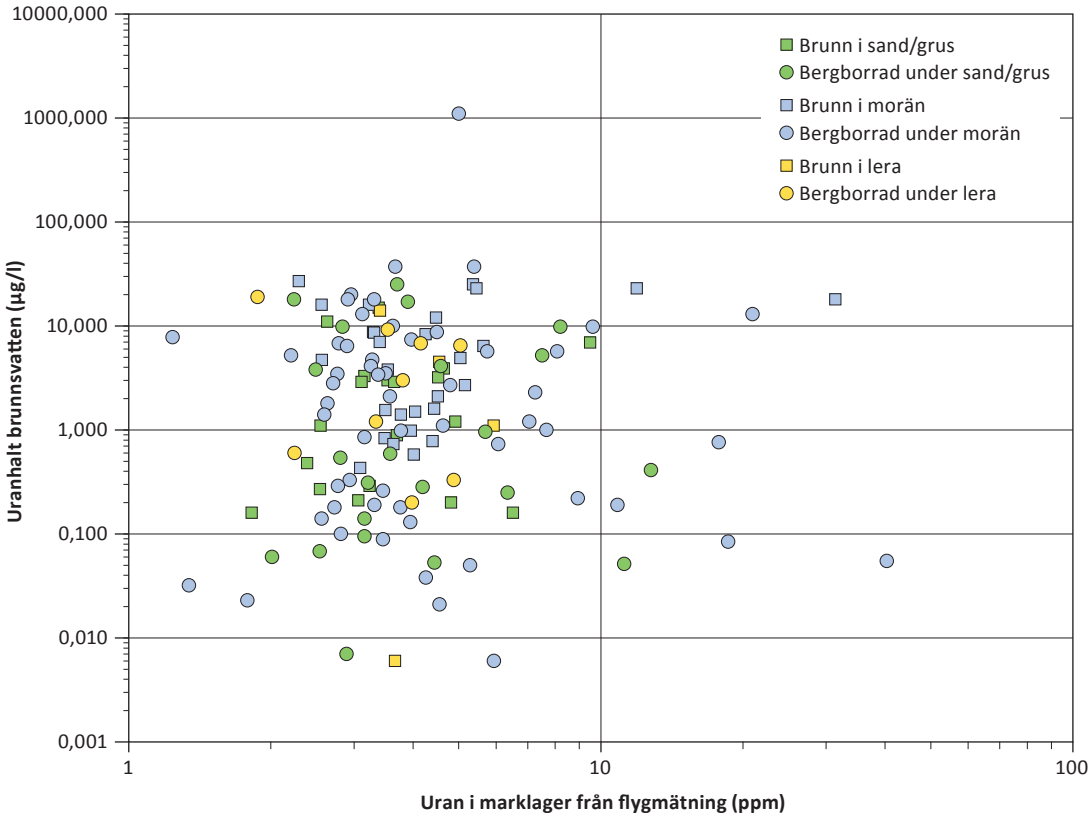
Parametrar		Brunnar i jord						Bergborrade brunnar			
		Lera		Morän		Grus–sand		KST/Sk	SST	Urberg	
		Inom	Utanför	Inom	Utanför	Inom	Utanför	Inom	Inom	Inom	Utanför
Konduktivitet, mS/m	n	12	187	39	145	39	212	59	116	43	932
	50 %	41,5	18,4	44,1	17,3	36,2	13,3	47,6	55,2	40,5	32,5
	90 %	70,7	61,3	72,6	47,5	69,8	35,8	70,3	112,5	57,5	70,9
COD_{Mn}, mg/l	n	11	121	35	113	28	58	35	58	29	594
	50 %	1,9	1,7	3,1	2,1	2,4	2,1	1,1	1,7	1,2	1,2
	90 %	5,1	5,3	12,6	7,6	8,6	6,7	3,0	3,8	5,9	4,2
Turbiditet, FNU	n	9	108	29	91	15	49	30	53	28	588
	50 %	0,8	0,8	0,8	0,8	1,5	1,3	1,2	0,9	1,7	0,9
	90 %	17,5	10,4	10,3	9,1	5,6	10,4	14,0	10,7	16,1	11,0
pH	n	12	187	39	145	39	212	73	119	45	978
	50 %	7,1	6,8	7,5	6,8	7,1	6,4	7,9	7,8	7,8	7,7
	90 %	7,9	7,7	7,9	7,7	7,7	7,6	8,2	8,2	8,3	8,2
Alkalinitet, mg/l	n	12	185	39	145	39	212	68	109	44	973
	50 %	192	65	160	65	130	42	203	200	183	160
	90 %	327	250	342	210	285	140	322	300	249	270
Klorid, mg/l	n	12	153	35	129	36	99	75	124	45	938
	50 %	16	8	10	6	11	3	19	24	11	11
	90 %	42	53	55	29	52	15	105	234	56	79
Fluorid, mg/l	n	12	153	35	128	36	94	58	108	43	884
	50 %	0,21	0,29	0,33	0,22	0,24	0,13	0,87	0,77	0,78	1,00
	90 %	0,64	0,90	0,69	0,96	0,97	0,59	1,60	1,80	2,50	2,30
Sulfat, mg/l	n	12	186	39	144	39	207	56	77	32	729
	50 %	13	10	33	9	23	6	35	45	21	11
	90 %	48	35	85	33	61	16	83	100	58	38
Nitrat, mg/l	n	12	153	35	128	36	97	62	99	44	926
	50 %	2,6	1,5	2,0	2,0	2,8	0,4	<	<	<	<
	90 %	34,3	18,0	26,6	16,3	35,9	8,7	1,4	8,5	3,2	5,3
Ammonium, mg/l	n	12	153	35	128	35	97	55	95	44	884
	50 %	0,01	<	0,02	<	0,03	<	0,27	0,20	0,03	0,02
	90 %	0,18	0,10	0,28	0,11	0,35	0,08	0,40	0,50	0,21	0,30
Fosfat, mg/l	n	12	170	37	138	39	154	57	95	37	799
	50 %	0,03	<	0,04	<	0,02	<	<	<	<	<
	90 %	0,10	0,09	0,14	0,10	0,19	0,07	0,04	0,10	0,04	0,06
Kalcium, mg/l	n	12	153	35	129	36	93	45	78	31	654
	50 %	55	22	68	20	48	18	56	66	55	34
	90 %	110	79	126	60	104	55	106	110	92	71
Magnesium, mg/l	n	12	153	35	129	36	93	45	77	31	653
	50 %	4,4	3,5	3,6	2,4	3,6	1,7	3,5	5,7	3,5	5,7
	90 %	16,8	14,0	8,6	9,3	12,0	9,2	6,2	11,4	6,2	12,0
Totalhårdhet, mg Ca/l	n	11	176	37	137	30	109	73	123	45	941
	50 %	66	28	79	27	56	20	61	79	58	45
	90 %	136	89	139	78	119	68	121	134	97	93
Natrium, mg/l	n	12	153	35	128	36	93	45	78	31	648
	50 %	7,2	7,0	6,4	5,1	8,6	3,8	31,0	35,0	16,0	15,0
	90 %	26,4	35,8	40,0	20,0	28,0	11,6	70,2	140,0	91,0	83,0
Kalium, mg/l	n	12	153	35	128	36	93	45	78	31	648
	50 %	2,1	2,0	2,4	2,2	3,0	1,0	1,7	4,0	1,6	2,4
	90 %	28,9	6,5	19,6	7,2	12,6	5,3	3,4	12,5	3,0	5,2
Järn, mg/l	n	12	154	35	129	37	198	75	124	45	973
	50 %	0,0	0,1	0,2	0,1	0,3	0,1	0,4	0,3	0,2	0,2
	90 %	2,4	2,1	1,1	1,5	2,0	1,0	1,5	2,1	1,8	1,4
Mangan, mg/l	n	12	154	35	129	35	99	68	108	44	937
	50 %	0,11	0,01	0,03	0,02	0,07	0,02	0,06	0,17	0,10	0,13
	90 %	0,58	0,54	0,78	0,28	0,80	0,27	0,33	0,53	0,50	0,58
Bly, µg/l	n	10	104	25	79	26	67	24	42	22	475
	50 %	0,49	0,75	0,50	1,00	0,25	0,53	0,09	0,19	0,42	0,40
	90 %	2,74	5,26	2,92	4,30	3,10	2,94	0,92	1,00	1,48	3,06

Tabell 3. Forts.

Parametrar		Brunnar i jord						Bergborrade brunnar			
		Lera		Morän		Grus–sand		KST/Sk	SST	Urberg	
		Inom	Utanför	Inom	Utanför	Inom	Utanför	Inom	Inom	Inom	Utanför
Kadmium, µg/l	n	10	104	16	81	23	75	18	37	12	405
	50 %	0,04	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	<	<	0,01	<
	90 %	0,14	0,12	0,19	0,08	0,09	0,07	0,04	0,06	0,02	0,06
Nickel, µg/l	n	10	83	16	69	22	57	18	33	11	374
	50 %	0,9	0,6	1,1	0,8	1,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,4
	90 %	10,1	1,9	9,8	2,8	3,0	2,4	0,9	2,0	1,6	2,8
Arsenik, µg/l	n	10	104	25	80	26	66	24	42	22	472
	50 %	0,33	0,26	0,67	0,28	0,37	0,24	0,04	0,67	0,29	0,41
	90 %	0,95	1,14	3,18	1,41	1,55	0,69	0,63	3,18	2,35	2,70
Uran, µg/l	n	9	90	25	75	19	47	24	42	22	478
	50 %	2,9	0,7	4,7	0,2	1,2	0,5	0,1	1,6	5,5	5,8
	90 %	14,8	16,3	23,0	9,6	7,7	8,5	5,1	18,0	13,0	34,0
Radon, Bq/l	n		32		21		24	24	37	21	465
	50 %		98		86		55	17	42	120	268
	90 %		309		210		233	67	285	440	1182



Figur 15. Gammastrålning (uran) och uranhalt uppmätt i brunnar i jordlager och i bergborrade brunnar inom undersökningsområdet.



Figur 16. Uranhalt uppmätt i brunnar i jordlager och i bergborrade brunnar i relation till beräknad uranhalt i marken från flygmätningar inom undersökningsområdet.

hög uranhalt (1100 µg/l). Denna brunn har också hög radonhalt (1500 Bq/l). Brunnen är borrad i sandsten men går även ned i den kristallina berggrunden.

Vid de tidigare hydrogeologiska undersökningarna (se Ag 1, Möller m.fl. 1971b, sid. 65–66; figur 26) utfördes tritiumanalyser. Tritium är en radioaktiv väteisotop och halterna är normalt naturligt låga. Under 1960-talet tillfördes atmosfären stora mängder tritium vid provsprängningar av kärnladdningar och halterna av tritium i nederbörden steg kraftigt. När vattnet infiltrerat och inte längre är i direktkontakt med atmosfären tillförs inte något mer tritium utan den mängd som infiltrerat sönderfaller med en halveringstid på 12,5 år. Om inget annat vatten med annan uppehållstid tillkommer kan åldern på vattnet beräknas. Denna typ av åldersbestämning är inte längre möjlig eftersom tritiumhalterna i atmosfären nu återigen är låga. För två undersökta sandstensbrunnar borrade genom kalksten och skiffer gav tritiumanalysen åldrar på omkring 25–30 år medan den tredje undersökta brunnen hade ett något yngre vatten. Brunnarna i sandsten som inte täcktes av kalksten eller skiffer hade relativt hög tritiumhalt, vilket visar att vattnet var betydligt yngre. I de tidigare analyserna hade brunnarna som täcktes av kalksten och skiffer förhållandevis högre halter av natrium, kalium och klorid än av kalcium, magnesium och alkalinitet jämfört med brunnar i sandsten utan det täckande lagret av kalksten och skiffer. Denna skillnad är inte uppenbar i de analyser som ligger till underlag för tabell 3. För ett antal brunnar som ligger inom kalksten-skifferområdet är sulfathalterna i vattnet mycket låga (<2 mg/l) vilket tyder på starkt reducerande förhållanden och långsam vattenomsättning.

Vid de hydrogeologiska karteringarna på 1970-talet (Möller m.fl. 1971b, Möller m.fl. 1971d, Möller m.fl. 1974b) togs vattenprov och sammanställdes analysresultat från bland annat grundvattenutredningar. Brunnsborrningsprotokoll från undersökningsområdet visar att brunnar med salt vatten förekommer lokalt i området. Inom området påträffades ett flertal brunnar med kloridhalter högre än 300 mg/l, dvs. över smakgränsen för klorid. Det finns även brunnar med tydligt förhöjd kloridhalt (>100 mg/l). Brunnar med förhöjd kloridhalt är ofta relativt djupa, 70–100 m i urberg, men även i något fall grundare brunnar i sandsten. Förhöjda kloridhalter förekommer även i grundvattnet i jordlagren. Både för jordgrundvatten och berggrundvatten orsakas de förhöjda kloridhalter vanligen av relikt salt, dvs. salt som är kvar från de perioder då undersökningsområdet täcktes av hav efter istiden. Salthalten ökar ofta vid ökat vattenuttag då ett djupare och saltare vatten mobiliseras. Längs isälvsavlagringarna i området löper ofta vägar, och vägsaltning kan lokalt bidra till förhöjda salthalter. I samband med brunnsborrning för såväl dricksvattentäkter som energibrunnar ska salthalten dokumenteras.

Trots att uran och andra metaller förekommer i undersökningsområdet, i synnerhet i alunskifferområden, är påverkan på de enskilda brunnar som används för dricksvattenförsörjning måttlig. Halterna är inte påtagligt högre än i övriga delar av Örebro län. I analysmaterialet från enskilda brunnar har de brunnar där man uppgett att vattnet genomgår rening uteslutits. Det kan således hända att brunnar med kända vattenkvalitetsproblem inte kommit med i underlaget till tabell 3. När det gäller brunnar med salthalter över smakgränsen försöker man ofta åtgärda problemen eller hitta annan vattentäkt vilket kan vara en anledning till att det inte finns så många brunnar med hög salthalt i detta underlag. Ett område med kända vattenkvalitetsproblem är Kvarntorpsområdet som har varit föremål för många vattenkvalitetsundersökningar. Sammanställning av undersökningsresultat (Karlsson 2014) visar på förhöjda halter av framför allt arsenik, kadmium, kobolt, molybden, nickel och uran i grundvattnet runt Kvarntorpshögen.

ÖVERGRIPANDE RESULTAT

Tolkning av geologiska profiler och 3D-modellering av resistivitetsdata

Geologisk tolkning längs utvalda profiler, baserat på lagerföljder från borrningar, utfördes inledningsvis, innan resultatet från ATEM-undersökningen var färdigbearbetad. Profilerna finns i hela undersökningsområdet och utgör ett bra underlag, särskilt i delområden med dålig eller ingen ATEM-täckning. Profilerna har sedan använts som stöd i den efterföljande tolkningen av resistivitetsmodellerna från ATEM-data. Vid profiltolkningen användes programvaran Groundhog (BGS Groundhog® Desktop Copyright © BGS/NERC 2018). Profilerna sträcker sig från markytan till under kontakten mellan den sedimentära och kristallina berggrunden. Profilerna är olika djupa beroende på den sammanlagda mäktigheten av jordlagren och den sedimentära lagerföljden.

De borrningar som bidrar till den geologiska tolkningen av profilerna finns på ett maximalt avstånd av 200 m på var sida från profilens linje, ofta närmare, vilket innebär att tolkningen av varje profil inkluderar ca 400 meter av omgivningen längs profilens sträckning. Lagerföljderna har harmoniserats och omklassats för att skapa en förenklad och enhetlig geologisk klassificering av lagerföljdsinformationen. De nya klasserna är jord, kalksten, alunskiffer, lerskiffer, sandsten och kristallint berg.

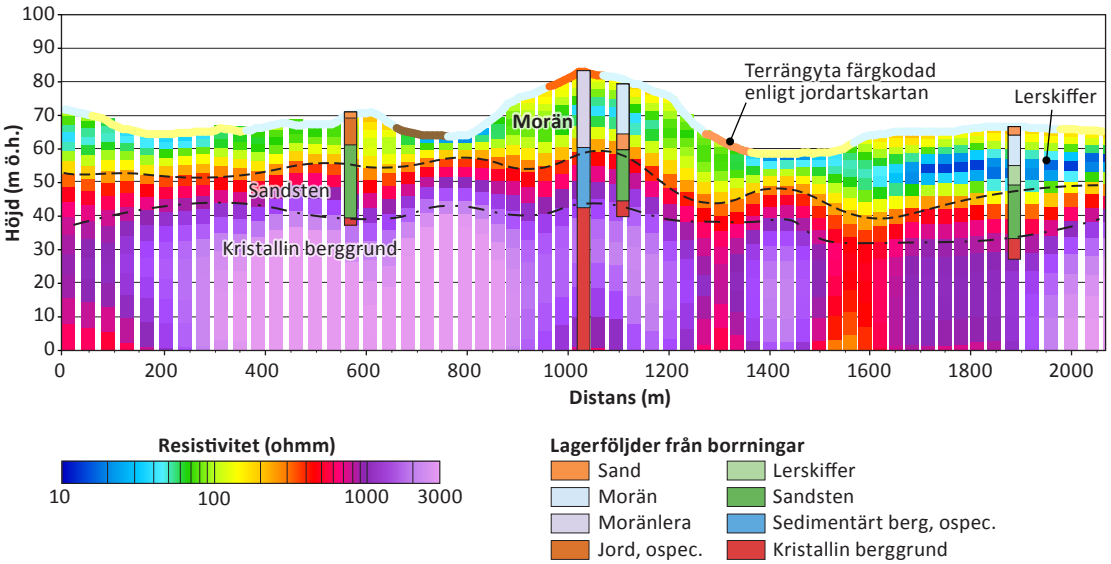
En geologisk lagermodell i 3D (se omslagsbild) har sedan skapats med hjälp av resistivitetsmodeller från ATEM-data och lagerföljdsinformationen. Modelleringen har utförts i programvaran Geoscene3D (I-GIS).

Resistivitetsmodeller från ATEM-data

Resultaten från ATEM-undersökningen presenteras vanligtvis som resistivitetsmodeller för respektive flyglinje ner till ett djup av 100–150 m. Figur 17 visar exempel på en två kilometer lång profil från den nordvästra delen av området. I profilen visas även lagerföljdsinformation från närliggande borrningar (på avstånd mindre än 100 m från profilen). Genom att jämföra resistivitetsdata med tillgänglig geologisk information (jordartskarta, berggrundskarta samt lagerföljdsinformation) är det möjligt att översätta resistivitetsinformationen till geologisk information samt ibland även hydrogeologiska egenskaper för olika berg- och jordarter. Den geofysiska borrhålsloggningen som utfördes i tre av borrhålen ger en detaljerad bild av resistiviteten närmast borrhålsväggen och därmed en direkt koppling mellan resistivitet och bergart. Även denna information har varit värdefull som stöd i tolkningen av resistivitetsdata.

Lera, moränlera och lerskiffer har lägst resistivitet inom området (generellt <50 ohmm). Sand, grus och sandig morän har en varierande resistivitet från ca 50 till 600 ohmm, beroende på om materialet är torrt eller vattenmättat. Sandstenen har generellt resistiviteter mellan 500 och 1000 ohmm men inslag av lerhaltiga lager ger lägre resistivitet. Den kristallina berggrunden har mycket hög resistivitet (>1000 ohmm). Sprickzoner samt uppsprucken och vittrad kristallin berggrund har vanligtvis lägre resistivitet eftersom dessa zoner ofta är vattenförande och även kan innehålla lermineral. I tabell 4 finns en sammanställning över ungefärliga resistivitetsvärden för olika jord- och bergarter inom undersökningsområdet.

Resistivitetsmodellerna har även interpolerats till en tredimensionell resistivitetsmodell som täcker hela undersökningsområdet, förutom inom områden där data saknas helt. 3D-modellen kan användas för att visualisera profiler med annan sträckning än flygriktningen som var öst–västlig. Resistivitetsdata kan även visualiseras som ytkartor som visar resistivitetsfördelningen för olika djupintervall (bilaga 3).



Figur 17. Exempel på resistivitetsmodell längs en flyglinje i den nordvästra delen av undersökningsområdet. Lagerföljder från borrningar i närheten av profilen (<100 m).

Tabell 4. Ungefärliga resistivitetsintervall för olika geologiska material inom undersökningsområdet.

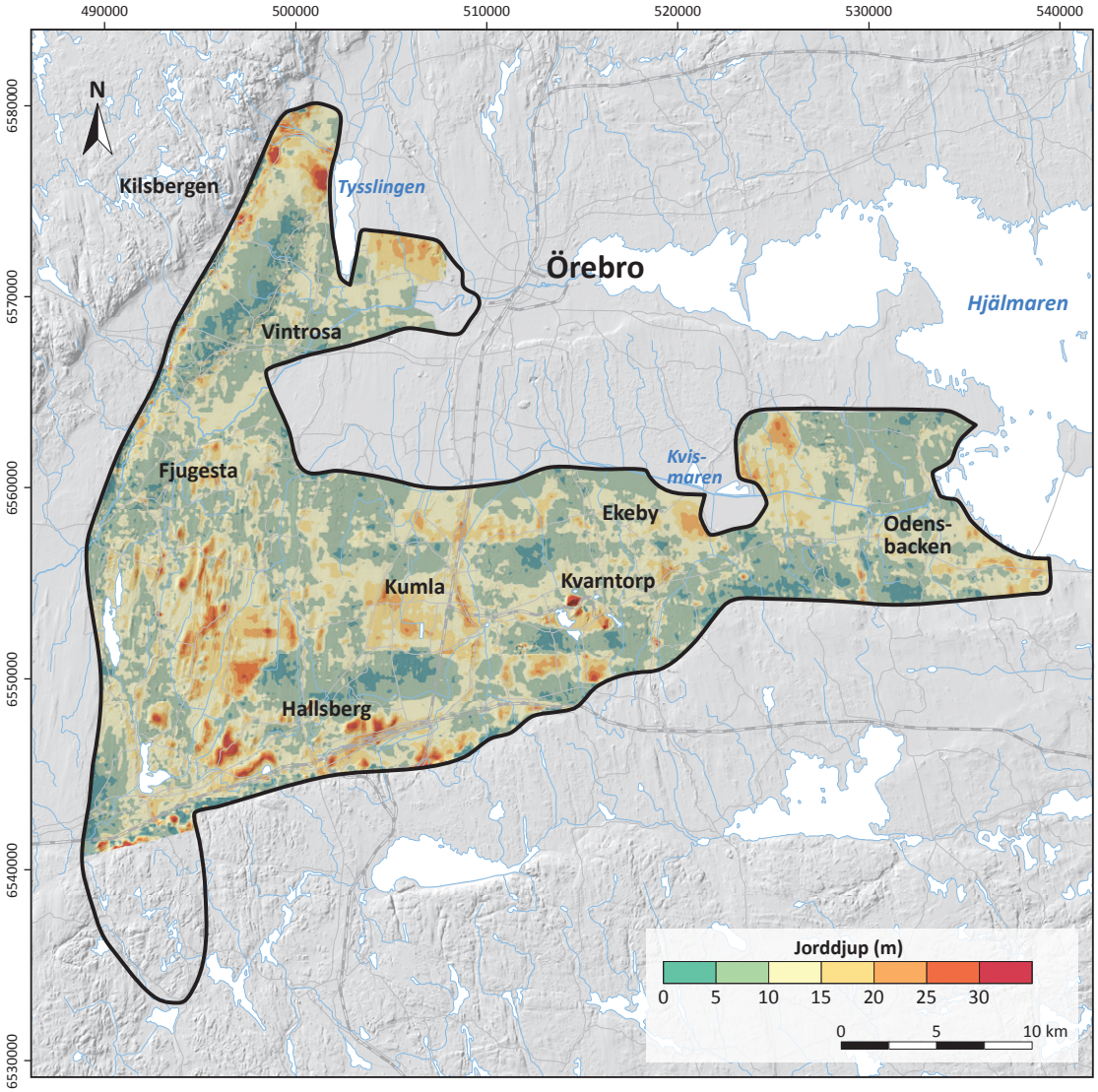
Geologi, markanvändning	Resistivitetsintervall (ohmm)	Kommentar
Torv, lera, silt, gyttja	3 till 80	Ofta vattenmättade jordarter med hög halt lermineral som sänker resistiviteten. Högre kloridhalt sänker resistiviteten ytterligare för leror för avsatta i bräckt vatten.
Sand och grus, torr	400 till över 1000	Främst ytligt i mäktiga isälvsavlagringar.
Sand och grus, vattenmättad	80 till 200	Under grundvattenytan sänks resistiviteten i sand- och grusavlagringar.
Morän	100 till över 1000	Vattenmättnadsgrad och lerinnehåll påverkar resistiviteten.
Moränlera	40 till 100	Vattenmättnadsgrad och lerinnehåll påverkar resistiviteten.
Kalksten	200 till 600	Varierande lerinnehåll.
Alunskiffer	80 till 300	Kalkstensbankar höjer resistiviteten trots att det rör sig om skiffer.
Lerskiffer	10 till 30	Högt lerinnehåll ger låg resistivitet.
Sandsten	100 till 1000	Vattenmättnadsgrad och lerinnehåll påverkar resistiviteten.
Kristallint berg, sprickfattigt	Över 1000	
Kristallint berg, uppsprucket	500 till över 1000	Vattenmättnadsgrad och lerinnehåll påverkar resistiviteten.

Bergöveryta och jorddjup

Jordlagren inom området har generellt lägre resistivitet jämfört med berggrunden, förutom i områden där berggrundsytan består av lerskiffer vilket gör att förhållandet är det omvända (fig. 17, tabell 4). Tolkning av jorddjupet har gjorts genom att gränsen mellan jordlager och bergets överyta markerats manuellt med ett stort antal punkter längs varje resistivitetsprofil eller flyglinje. Punkterna har sedan interpolerats till en yta för dataområdet. Som stöd vid tolkningen har även jorddjupsinformation från borrningar använts. I områden där resistivitetskontrasten är liten mellan jordlager och berggrund är tolkningen mer osäker. I några

områden är det även svårt att bedöma om ett lager med mycket låg resistivitet motsvarar moränlera (jordlager) eller lerskiffer (berggrund). Detta kan även vara svårt att bedöma i borrningar eftersom den leriga moränen kan vara mycket hårt packad.

Figur 18 visar den nya jorddjupsmodellen som tagits fram inom undersökningsområdet. I den sydvästligaste delen av området har ingen tolkning gjorts eftersom större delen av data rensats bort här på grund av markens mycket höga resistivitet. Det gäller även området strax väster om Örebro där data saknas. I övriga delar inom området där mycket data rensats bort eller saknas har vi använt SGUs befintliga jorddjupsmodell (Daniels & Thunholm 2014) för att få en heltäckande bergöveryta. Medelmäktigheten på jordlagren är drygt 10 m inom undersökningsområdet. Det största konstaterade jorddjupet på 52 m återfinns längst upp i nordväst i anslutning till förkastningsbranten vid Kilsbergen. Generellt är jorddjupen större i anslutning till förkastningszonerna och även längs vissa isälvsavlagringar, till exempel längs Hallsberg-Kumlaåsen (fig. 13). Stora jorddjup återfinns bland annat i de ofta drumliniserade moränackumulationerna i de sydvästra och centrala delarna av kartområdet. Stora jorddjup förekommer även inom områden med lera. Den ca 100 m höga Kvarntorps-

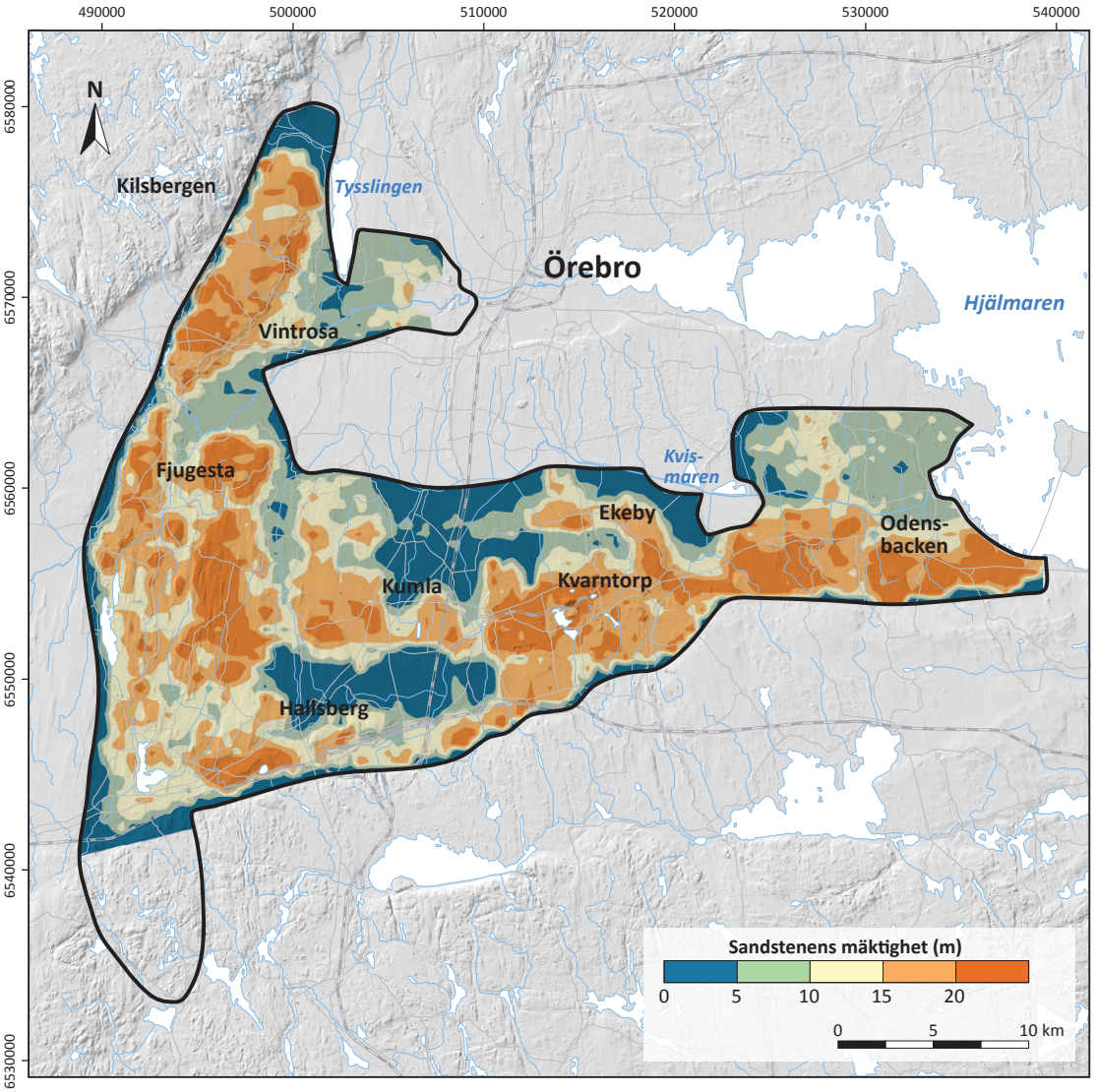


Figur 18. Modell över jordlagrens mäktighet inom området baserad på resistivitetsmodeller från ATEM-data samt lagerföljder från borrningar.

högen, som består av fyllning (huvudsakligen rödfyr), klassas som jordart och syns därför tydligt i jorddjupsmodellen (fig. 18). Mindre jorddjup (<10 m) påträffas framför allt i områden där den översta berggrunden består av kalksten eller kristallint berg, dvs. relativt hård berggrund.

Sandstenens mäktighet och utbredning

På liknande sätt som jorddjupsmodellen tagits fram har mäktigheten och utbredningen av den kambriska sandstenen tolkats. Sandstenen är speciellt intressant eftersom den bedöms ha stor betydelse för grundvattenförekomsterna inom området. I resistivitetsmodellerna är det ofta svårt att exakt identifiera sandstenens underyta eftersom resistiviteten ökar gradvis ner mot den kristallina berggrunden. Här har vi därför haft stor hjälp i tolkningen av borrningar i området, de geofysiska loggningar som utfördes i tre av borrhålen samt den geologiska tolkning som utförts längs utvalda profiler. I vissa områden med tunna sandstenslager är det svårt att bedöma om sandsten förekommer eller inte och i områden med mäktigare sandstenslager kan sandstenens tjocklek ha överskattats.



Figur 19. Modell över sandstenens mäktighet i området baserad på i huvudsak resistivitetsmodeller från ATEM-data samt lagerföljder från borrningar.

Figur 19 visar sandstenens mäktighet inom undersökningsområdet. Områden med 0–5 m sandsten sammanfaller i stort sett med berggrundskartans områden med kristallin berggrund, det vill säga här saknas oftast sandsten. Relativt tunna lager (5–10 m) förekommer öster om Latorpsplatån samt i ett nord–sydligt stråk mitt emellan Fjugesta och Kumla. Även i den nordöstra delen av undersökningsområdet vid Hjälmaren är sandstenslagret tunt. Mäktiga lager av sandsten, mer än 15 m och i vissa fall mer än 20 m, förekommer framför allt i de områden där sandstenen överlagras av yngre sedimentär berggrund (jämför berggrundskartan i fig. 9).

Förkastningar och spröda deformationszoner i berggrunden

Resistivitetsdata har även använts för att göra en omtolkning av områdets strukturella uppbyggnad. Tydliga förkastningar har i många fall observerats i resistivitetsprofiler men den huvudsakliga tolkningen har gjorts genom att identifiera linjära strukturer i resistivitetsytor framtagna för olika djup. Figur 20 visar exempel på resistivitetsfördelningen i intervallet 30–40 m ö.h. I den sydvästligaste delen av området har resistivitetsdata maskats bort eftersom större delen av ATEM-data där rensats bort på grund av markens mycket höga resistivitet. I den östra delen av området saknas data på grund av att markytan här ligger på en lägre nivå än 30–40 m ö.h.

Flertalet av de kända förkastningszonerna kan identifieras i resistivitetsdata, i vissa fall på samma ställe, men ofta med en något annorlunda sträckning och riktning. Tjockare streckade linjer (fig. 20) visar den nytolkning av förkastningar och deformationszoner som gjorts inom undersökningsområdet. I tolkningen har resistivitetsytor för olika 10-meters höjdintervall studerats och dessa finns redovisade i bilaga 3.

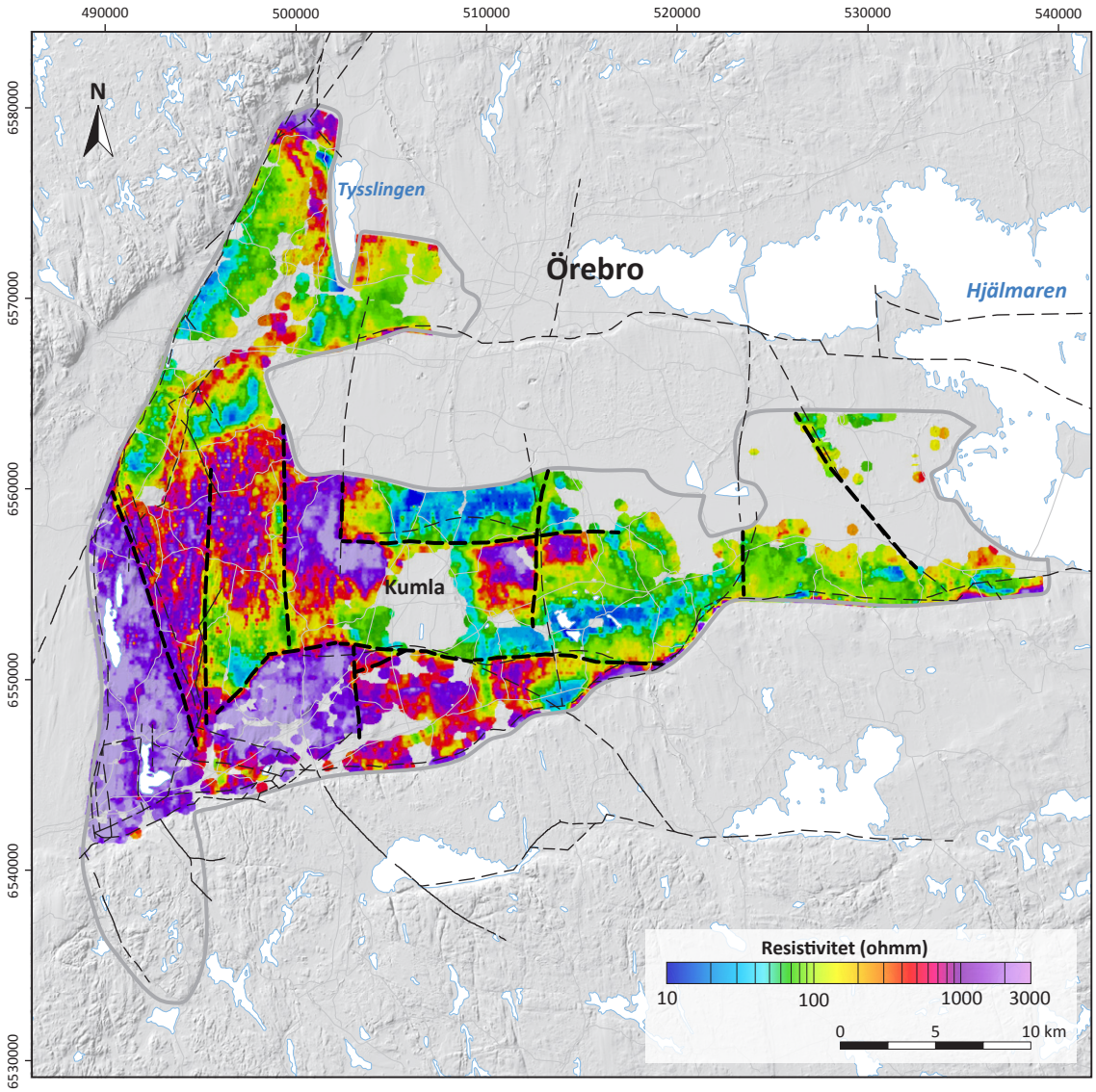
Figur 21 visare en tolkning av den kristallina berggrundens överyta (nivå i m ö.h.) som tagits fram genom tolkning av resistivitetsmodellerna samt information från borrningar i området. Norr och söder om Kumla finns två höjdryggar i öst–västlig riktning med tydliga förkastningsbranter på den norra sidan. Höjdryggarna sammanfaller delvis men inte helt med områden med kristallin berggrund på berggrundskartan. Förkastningarna har dessutom delvis en annan sträckning i jämförelse med tidigare tolkningar, speciellt för den norra förkastningen. Dessa nya tolkningar innebär att berggrundskartan (SGUs berggrundsdatabas) kommer att uppdateras. De öst–västliga förkastningarna ingår i samma system med öst–västliga trappstegsformationer som syns tydligt i höjddata (fig. 2) och beskrivs i kapitlet Berggrund. Här är de till stor del dolda under jordlager och sedimentär berggrund.

Förkastningarna bedöms vara intressanta ur ett grundvattenperspektiv då berggrunden ofta är mer uppsprucken och vattenförande i och i anslutning till dessa zoner. Sprickzoner kan vara svåra att kartlägga med tillräcklig noggrannhet med ATEM varför ytterligare undersökningar med till exempel markbaserade geofysiska undersökningar bör utföras innan man gör eventuella provborrningar. Flera av undersökningsborrningarna utfördes i nära anslutning till dessa förkastningar (BH 5, 6, 7 och 8) och beskrivs närmare i avsnittet ”Delområde 4: Kumla–Sköllersta”.

Sandstenens mäktighet kopplat till hydraulisk konduktivitet

För att beskriva bergets förmåga att släppa igenom vatten används ofta uttrycket hydraulisk konduktivitet, K (m/s). Bestämningen av den hydrauliska konduktiviteten kan göras genom olika typer av hydrauliska tester som kan vara mer eller mindre avancerade.

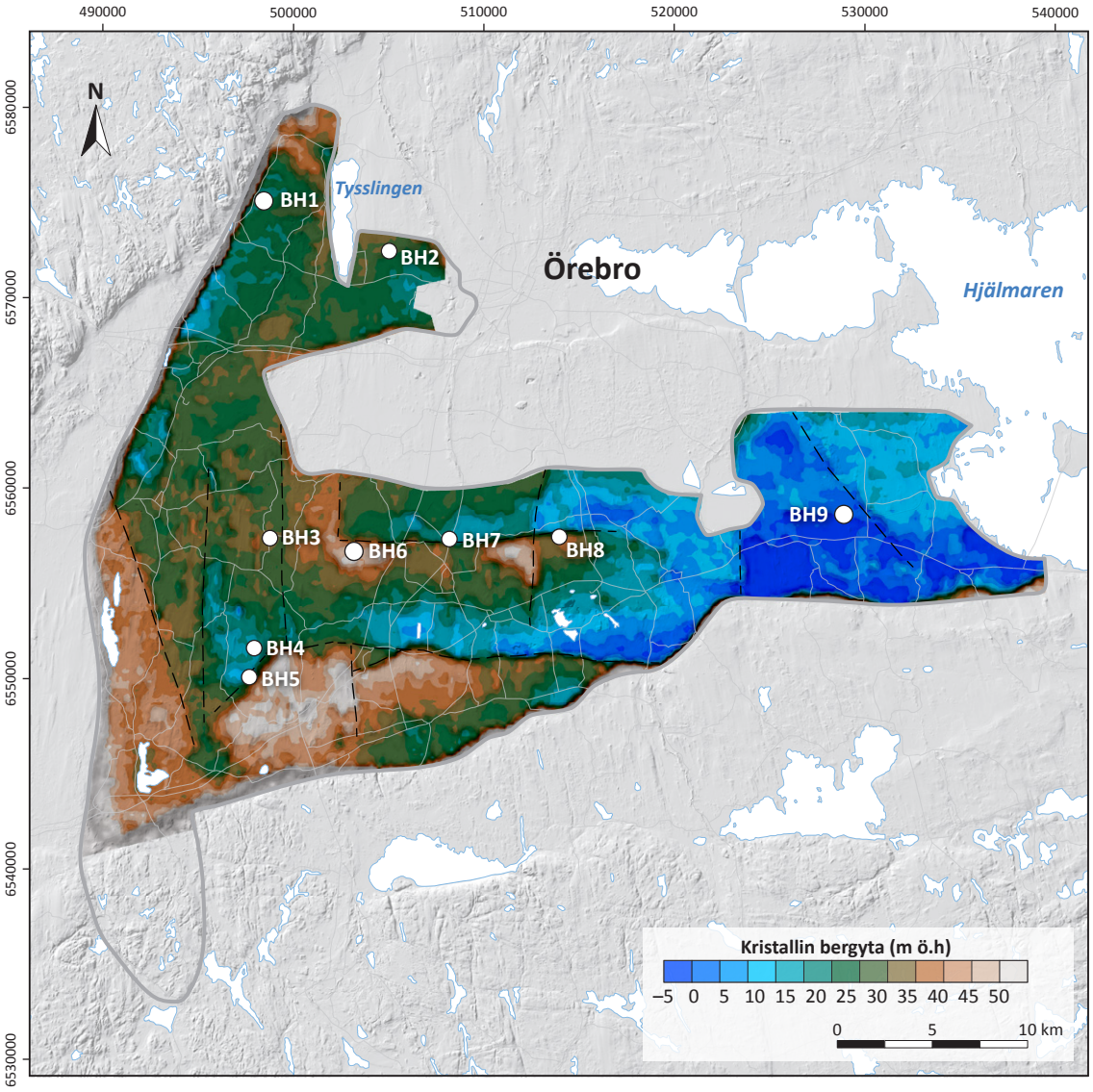
Genom de undersökningar som utfördes i området i samband med SGUs karteringsinsatser under slutet av 1960-talet och början av 1970-talet bestämdes den hydrauliska



Figur 20. Medelresistivitet i intervallet 30–40 m ö.h. Tunna streckade linjer visar tidigare tolkade förkastningar och deformationszoner i berggrunden och är hämtade från SGUs berggrundsgeologiska kartdatabas. Tjockare streckade linjer visar zoner tolkade från resistivitetsdata.

konduktiviteten för sandstenen i området genom provpumpning och laboratorieanalyser. Permeabilitetsbestämning av Mickwitziasandsten från borrkärnor borrade i området gav ett medianvärde på $0{,}8 \times 10^{-6}$ m/s samtidigt som utförda provpumpningar i fält i 70 brunnar resulterade i ett medianvärde på $1{,}7 \times 10^{-6}$ m/s (Möller m.fl. 1974b).

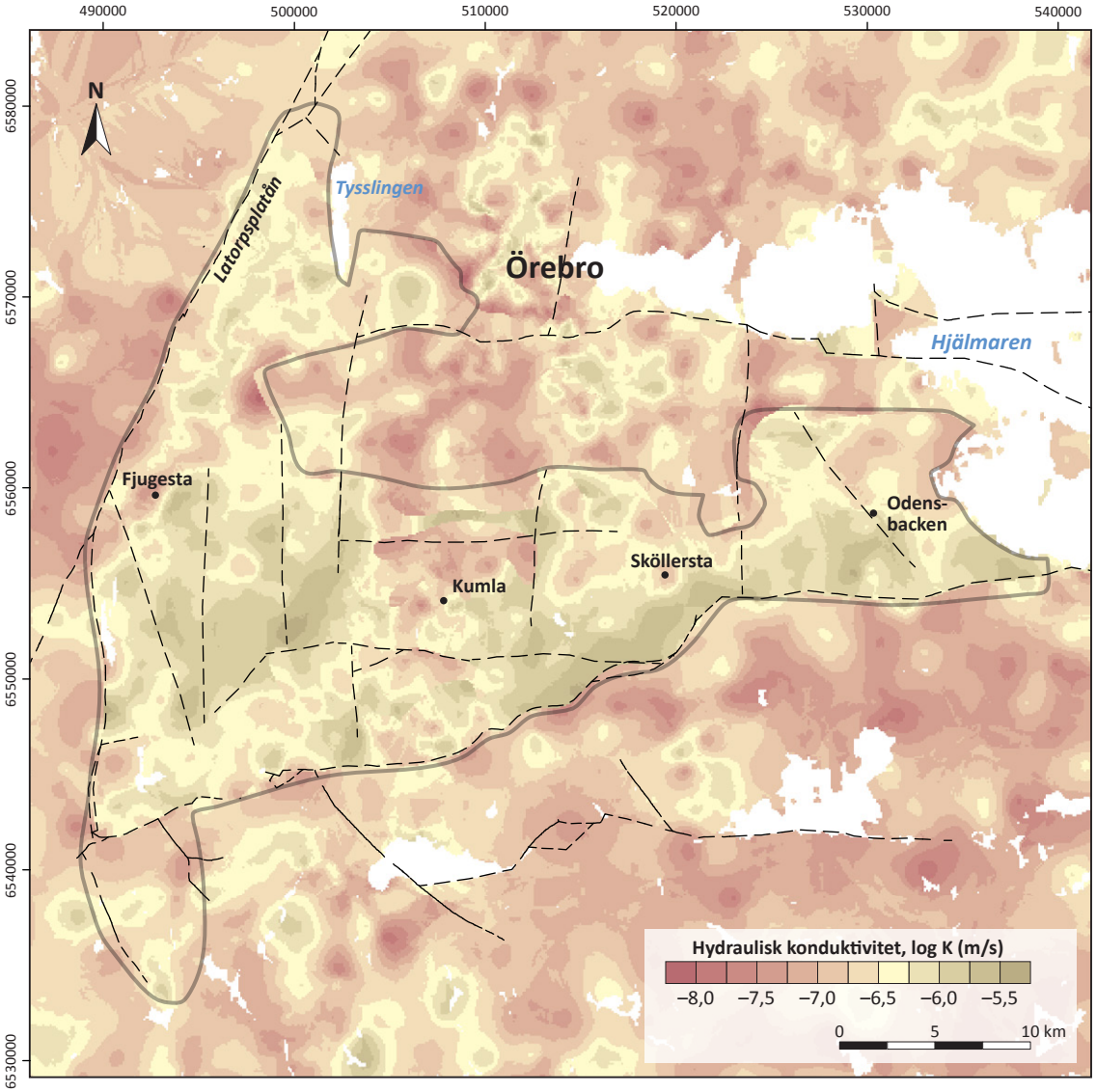
En enklare form av hydrauliskt test som kan användas för uppskattning av K är den kapacitetsbestämning som utförs i samband med normal brunnsborrning. Enligt SGUs bedömning är den vanligaste metoden för kapacitetsbestämning att efter avslutad borrning blåsa brunnen med tryckluft så att vatten pressas upp ur brunnen och vattenflödet bestäms med hink och klocka. Resultaten från dessa pumptest kan genom olika angreppssätt användas för beräkning av K. Vid SGU pågår just nu, år 2020, ett arbete med att beskriva den metod som SGU anser som lämpligast för denna typ av beräkningar och som en del i arbetet har beräkningar av den hydrauliska konduktiviteten utförts för hela Sveriges ytliga berg-



Figur 21. Den kristallina berggrundens överyta. Tolkningen baseras på resistivitetsmodeller från ATEM-data samt lagerföljder från borrningar. Streckade svarta linjer visar de sprickzoner som tolkats från ATEM-data.

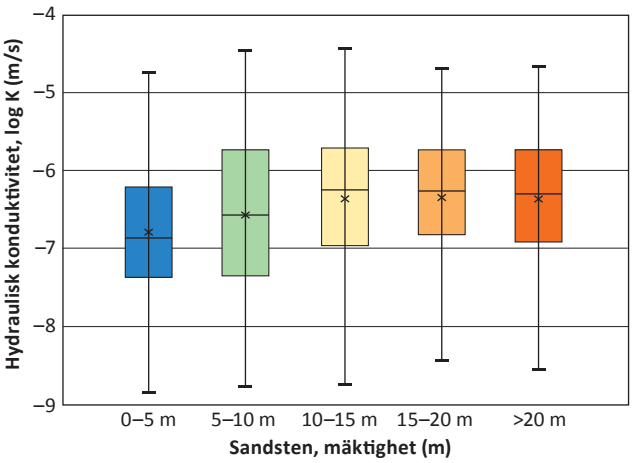
grund (Hjerne m.fl. 2020, under bearbetning). Kortfattat bygger metoden på att räkna om kapacitetsuppgifter från brunnsarkivet med hjälp av ett empiriskt samband till K för respektive brunn. I ett andra steg interpoleras dessa K över en bestämd volym ned till 100 m djup, men ingen ytterligare horisontell indelning har använts. Vid interpolationen har områden med sedimentär berggrund interpolerats som en grupp och områden med kristallin berggrund interpolerats som en grupp, baserad på den befintliga berggrundskartan.

Figur 22 visar interpolerade K från dessa beräkningar inom undersökningsområdet samt omgivande områden. Totalt ingår data från 3 600 brunnar inom undersökningsområdet. Brunnarna är dock inte jämnt fördelade över området varför det interpolerade K blir mer osäkert i områden med få brunnar. Även där det finns många brunnar finns en viss osäkerhet eftersom K varierar lokalt, men de interpolerade värdena bedöms ändå ge en indikation för den generella hydrauliska konduktiviteten i ett område. Figur 22 visar att inom undersökningsområdet, som till största delen utgörs av sedimentär berggrund, är K generellt



Figur 22. Interpolerad hydraulisk konduktivitet (K) över undersökningsområdet. Underlagsdata från Brunnsarkivet. För fullständig information kring beräkningar och interpolation se Hjerne m.fl. (2020, under bearbetning). Streckade svarta linjer visar en reviderad tolkning av sprickzoner i området.

högre i jämförelse med omgivande kristallin berggrund. Även inom undersökningsområdet förekommer variationer där lägre K (rödare områden) korrelerar med områden där sandstenslagret saknas eller är mycket tunt (jämför fig. 19). Lägre K förekommer norr och söder om Kumla där berggrunden består av kristallin berggrund. Det finns även lägre K i ett nordostligt stråk vid Fjugesta samt ett område norr om Odensbacken. Båda dessa områden sammanfaller med områden där ATEM-data indikerat att sandstenslagret är tunnare än 10 m. Högre K (gröna områden) förekommer dels i ett stråk längs den sydvästra delen av området (söder om Sköllersta och Odensbacken). Området ansluter mot förkastningszonen längs den södra begränsningen av området och här är även sandstenen relativt mäktig (>15 m, fig. 19). Ytterligare ett område med högre K finns i den centrala delen av undersökningsområdet sydost om Fjugesta. Även här visar tolkningen att sandstenen är relativt mäktig (fig. 19).



Figur 23. Box-plotdiagram som visar K-värdenas variation i förhållande till sandstenens mäktighet. De fyllda rektanglarna visar övre och nedra kvartil (25 % och 75 %). Det horisontella strecket i varje box visar medianvärdet och krysset medelvärdet. De vertikala strecken visar min- och maxvärde (exklusive enstaka extremvärden s.k. uteliggare).

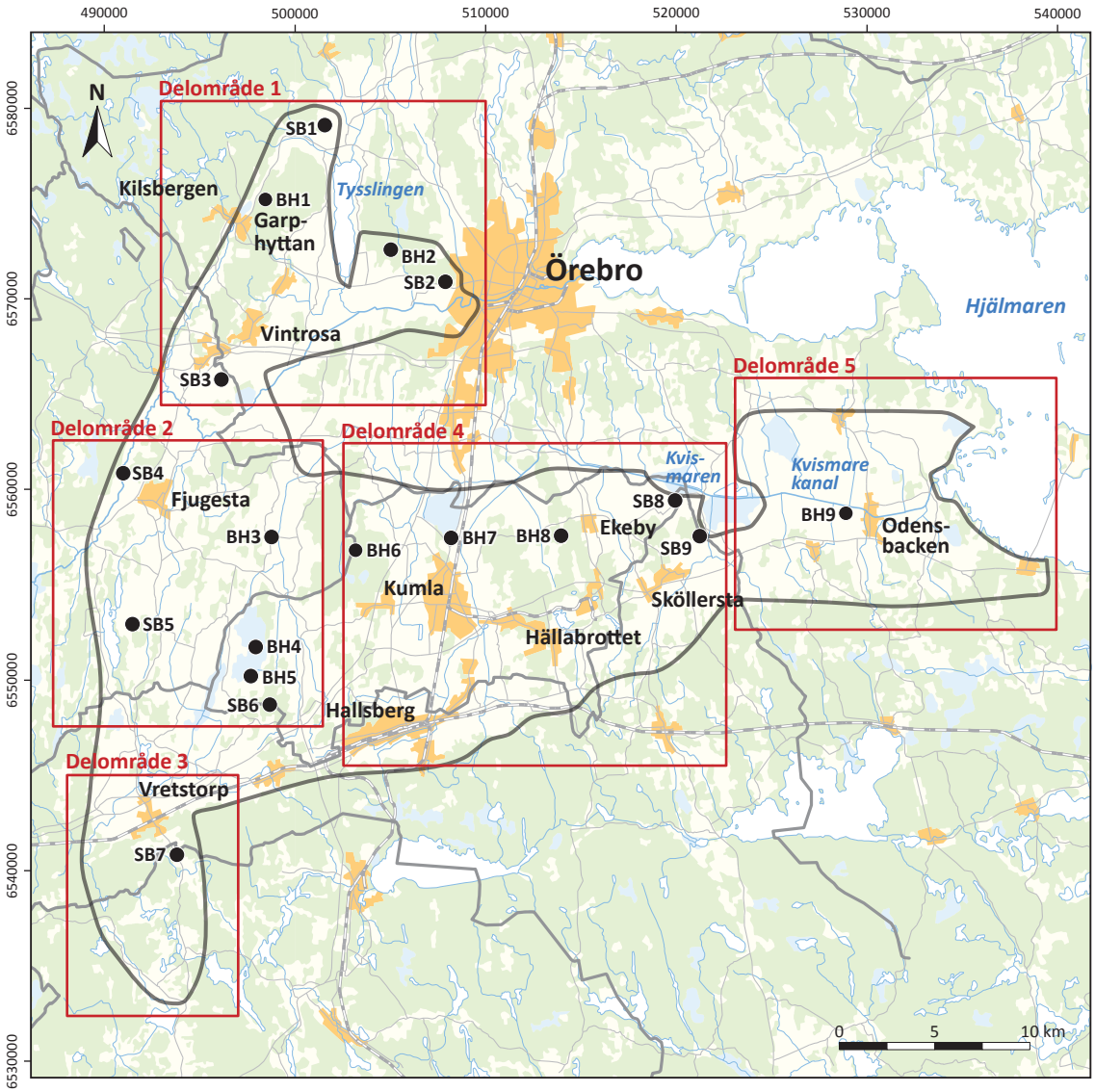
I figur 23 har variationen i K med sandstenens mäktighet sammanställts i form av ett box-plot-diagram. Diagrammet visar att K ökar med tilltagande mäktighet på sandstenen upp till 10–15 m. För sandstenslager med ännu större mäktigheter (>15 m) syns ingen ytterligare ökning av K-värdet. Medianvärdet för K för brunnar borrade inom områden med mer än 10 m tjock sandsten är $0{,}5 \times 10^{-6}$ m/s medan medianvärdet för brunnar borrade inom områden med kristallin berggrund eller mycket tunt sandstenslager (<5 m) är $0{,}1 \times 10^{-6}$ m/s. Utesluter vi energibrunnarna, vilka oftast är borrade till mycket stora djup och går genom både sandsten och kristallin berggrund, blir medianvärdet $0{,}9 \times 10^{-6}$ m/s för brunnar i områden med mer än 10 m tjock sandsten. Detta värde ligger närmare de medianvärden som beräknats tidigare genom laboratorieanalys och provpumpning.

OMRÅDESVISA GEOLOGISKA OCH HYDROGEOLOGISKA TOLKNINGAR

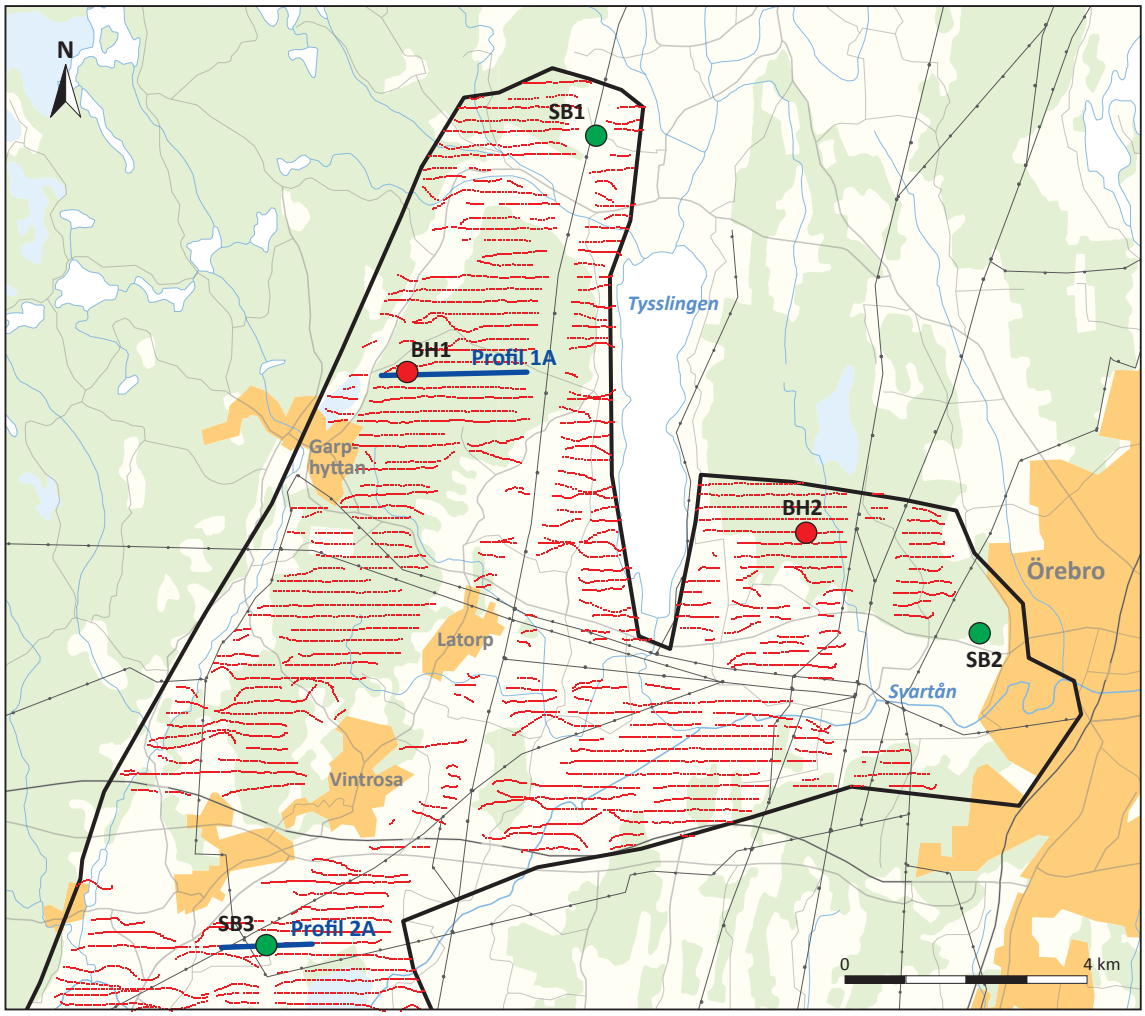
I detta kapitel redovisas tolkningar av fem mindre delområden (fig. 24). Det är i första hand resultaten som ger ny information om jordlager, berggrundsförhållanden och förutsättningar för grundvattenuttag som exemplifieras.

Delområde 1: Garphyttan–Vintrosa–Örebro

Den nordvästligaste delen av undersökningsområdet begränsas i väster av Kilsbergen och i öster av sjön Tysslingen och Örebro stad (fig. 25). Topografiskt domineras området av en långsträckt höjdplatå, Latorpsplatån, som bevarats från erosion tack vare närheten till Kilsbergen. Här är hela den sedimentära lagerföljden bevarad från kalksten närmast markytan följt av alunskiffer, lerskiffer och sandsten som överlagrar den kristallina berggrunden.



Figur 24. Indelning i delområden 1 till 5. Kartan visar även läget för undersökningsborrningarna som utförts inom projektet.

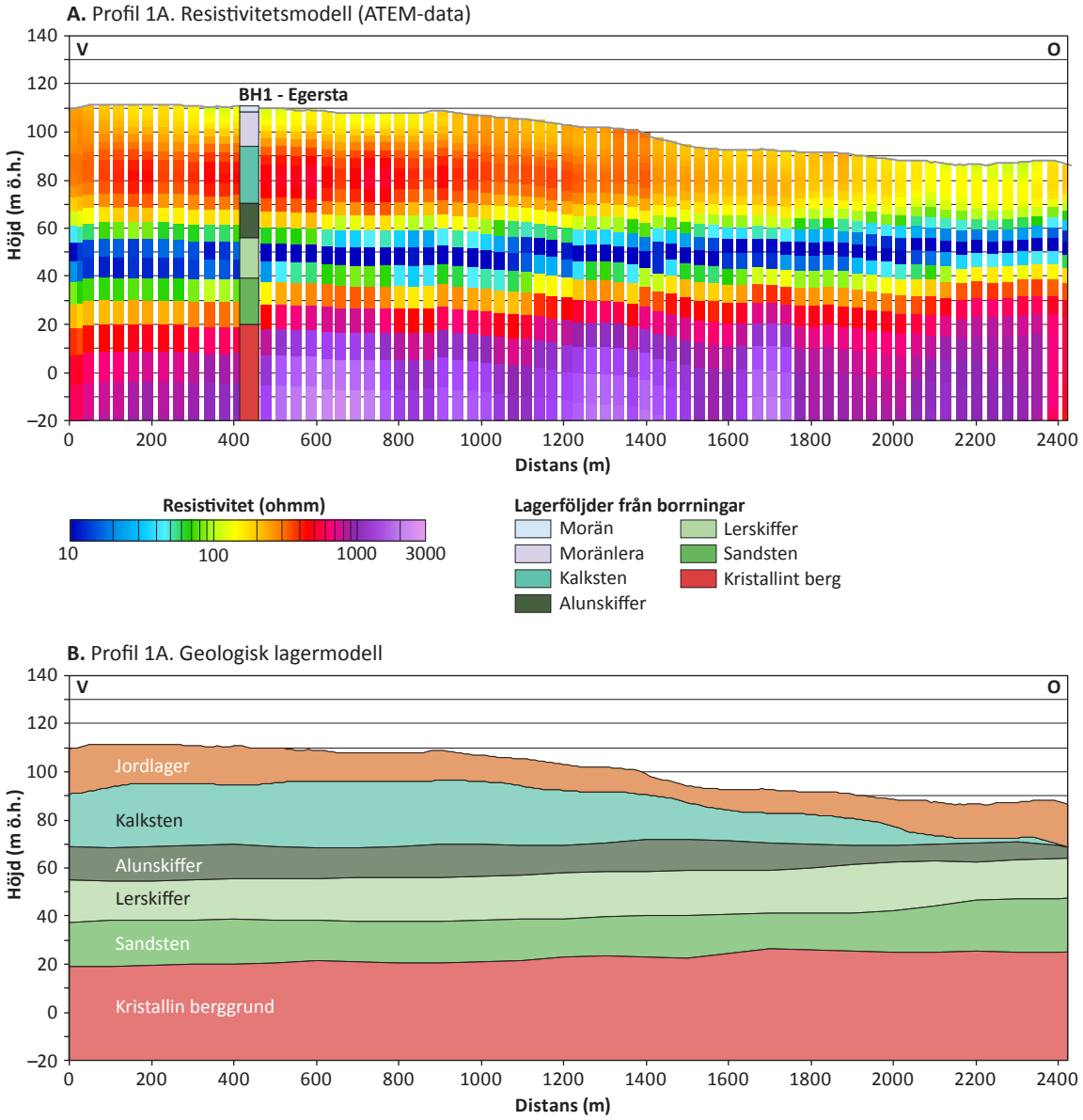


Figur 25. Delområde 1. Röda punkter och linjer visar tillgängliga mätdata efter rensning. Kartan visar även läget för undersökningsborrningarna som utförts inom delområdet samt läget för profil 1A och profil 1B.

I övriga delen av området utgör sandstenen berggrundsytan förutom ett område längst i norr med kristallin berggrund (fig. 9). Ingen flygmätning utfördes över tätorterna och i området strax väster om Örebro stad där det finns ett stort antal hästgårdar. ATEM-data har framför allt rensats bort längs vägar och större kraftledningar (fig. 25). Två undersökningsborrningar i jord och berg utfördes inom området: BH 1 (Egersta, bilaga 2) och BH 2 (Gräve). Borrningar i jordlagren utfördes på tre platser: SB 1–SB 3.

Latorpsplatån – BH 1 (Egersta)

Figur 26 visar resistivitetsmodell och geologisk lagermodell för en 2,4 km lång profil vid BH 1. Tydligast är det genomgående lågresistiva lagret (blå färg, ca 10 ohmm) vid 50 m ö.h. som motsvarar lerskiffer. Även det högresistiva lagret med kalksten (ca 500 ohmm) är relativt lätt att identifiera i resistivitetsmodellen. Lagret med alunskiffer ligger i en övergångszon från lågresistiv lerskiffer till högresistiv kalksten. På motsvarande sätt förekommer sandstenen i en övergångszon från högresistiv kristallin berggrund till lågresistiv lerskiffer vilket gör att dessa lager är svåra att identifiera enbart med hjälp av resistivitetsdata. Den kristallina berggrunden uppvisar högst resistivitet (omkring 1000 ohmm) men den exakta gränsen mellan sandsten och kristallin berggrund kan vara svår att bestämma och här ger



Figur 26. Profil 1A. **A.** Resistivitetsmodell med lagerföljd från borrning BH 1-Egersta. **B.** Geologisk lagermodell. Profilens läge är markerad i figur 25.

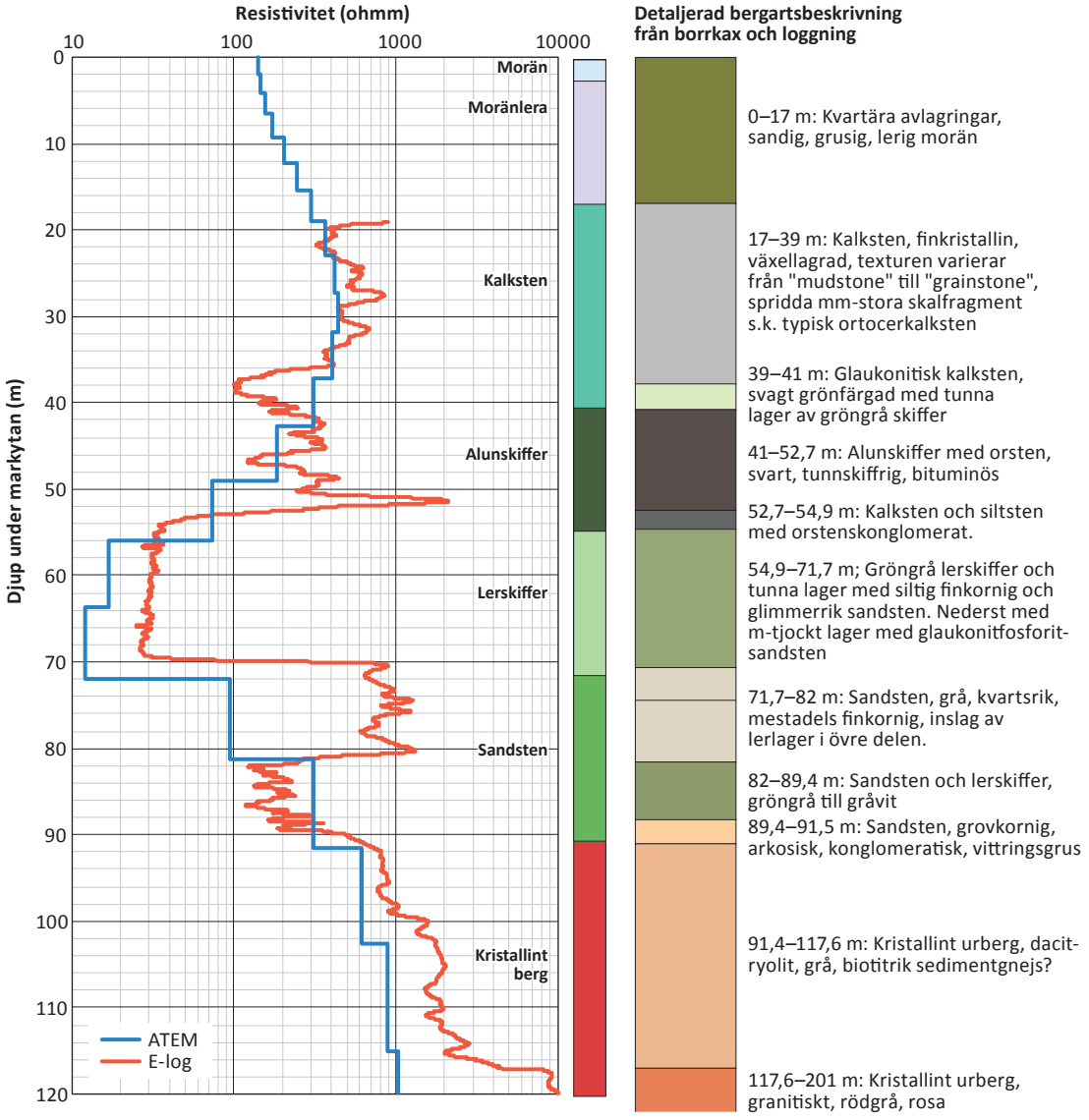
borrningar värdefull information. Närmast ytan visar resistivitetsmodellen vid läget för borrningen något lägre resistivitet vilket motsvaras av jordlagret (ca 20 m med delvis lerig morän). Modellen visar även att lagren stupar svagt mot väster.

Syftet med bergborrningen BH 1 (Egersta, bilaga 2) var, förutom att uppskatta vattenmängd, att också undersöka hela den sedimentära lagerföljden samt att korrelera lagerföljdsdata med resistivitetsmodellerna. Här utfördes även en geofysisk borrhålsloggning där bland annat bergväggens resistivitet mättes (E-log) vilket ger en direkt koppling mellan bergart och resistivitet. Undersökning av borrkaxet från BH 1 tillsammans med tolkning av data från borrhålsloggning visar att lagerföljden utgörs av: moränlera (17 m), kalksten (24 m), alunskiffer (14 m), lerskiffer (17 m), sandsten (19 m) och kristallint urberg.

Figur 27 visar en jämförelse mellan resistivitet uppmätt med borrhålsloggning (E-log) och modellerad resistivitet från ATEM-data. Resistivitetsmodellerna från ATEM-data visar

gradvisa, ”mjuka” övergångar och en enskild mätpunkt innefattar en relativt stor volym av marken, speciellt på större djup. Vid borrhålsloggningen däremot, sker registrering kontinuerligt varje centimeter vilket resulterar i en mycket detaljerad bild av resistivitetsvariationen i berglagren närmast borrhålsväggen (fig. 27).

Trots dessa skillnader ser vi ändå en god överensstämmelse med jämförbara resistivitetsvärden inom lagren med kalksten och alunskiffer. Även det lågresistiva lerskifferlagret är mycket väl definierat i resistivitetsmodellen. E-loggen ger här något högre resistivitet (30 ohmm) i jämförelse med resistivitetsmodellen (10–20 ohmm) vilket kan tyda på en resistivitetsanisotropi i lagret. Strömmen i mätsonden går huvudsakligen vertikalt, det vill säga vinkelrätt mot lagringen, medan strömmen från ATEM-undersökningen utbreder sig horisontellt, det vill säga parallellt med lagringen i berggrunden. På 70 m djup visar E-loggen en distinkt ökning upp till ca 700 ohmm vilket markerar gränsen mellan lerskiffer



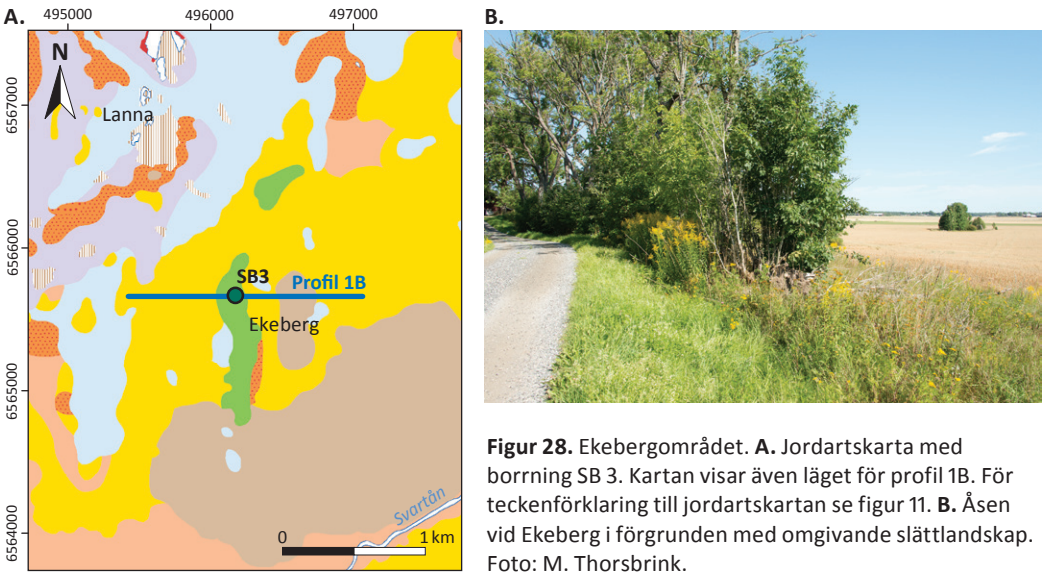
Figur 27. BH 1 (Egersta). Diagrammet till vänster visar resistivitet som funktion av djup uppmätt i borrhål med mätsond med kontinuerlig registrering av borrhålsväggens resistivitet (E-log). På grund av foderrör saknas E-logdata i den översta delen av borrhålet. Som jämförelse visas modellerad resistivitet från ATEM-mätning. Till höger visas en detaljerad geologisk tolkning av samtliga data från borrhålsloggningen ner till 120 m djup.

och sandsten. Resistivitetsmodellen visar här en betydligt mjukare övergång. Vid 82–90 m djup visar E-loggen återigen en lågresistiv zon (ca 200 ohmm) som sannolikt orsakas av mer leriga lager i den nedre delen av sandstenen. Detta lager kan inte identifieras i resistivitetsmodellen från ATEM-data. Lagret har för liten mäktighet och resistivitetskontrast för det ska vara möjligt att upplösa med ATEM-metoden på detta djup. Innan övergången till kristallin berggrund visar den geologiska tolkningen ett två meter mäktigt lager med grovkornig, konglomeratisk sandsten. Vid övergången till kristallin berggrund stiger resistiviteten till uppemot 1000 ohmm och vid 120 m visar E-log-data resistiviteter omkring 10 000 ohmm vilket är respresentativt för en kristallin, relativt sprickfattig berggrund. Avsnittet från 91 till 117 m har tolkats som vulkanit och från 117 m har berggrunden tolkats som granit. De något lägre resistiviteterna som E-loggen visar i avsnittet 91–117 m kan även orsakas av en mer uppsprucken och vattenförande berggrund. Även caliperloggen som mäter borrhålsväggens utseende och diametern på borrhålet indikerar uppsprucket berg (bilaga 2). Borrningen BH 1 (Egersta) gav en uppskattat vattenmängd på 10 000 l/tim vilket är den högsta uppmätta vattenmängden i de undersökningsborrningar som utförts inom projektet (tabell 1).

Kapacitetsuppgifter från Brunnsarkivet (SGU 2020c) visar på relativt stora vattenmängder utmed den östra kanten av Latorpsplatån. Sannolikt kan detta bero på att ett vattentryck byggs upp i sandstenen som en följd av grundvattenbildning i Kilsbergen direkt väster om platån. Denna bedömning gjorde även Möller m.fl. (1976) som genom en sammanställning av trycknivåer också kunde visa på en grundvattenströmningen från platåns nordvästra del mot öster och sydost. Även kartan över hydraulisk konduktivitet (K) inom undersökningsområdet visar ett område med något förhöjda värden längs den östra kanten av Latorpsplatån (fig. 22, Hjerne m.fl. 2020, under bearbetning).

Ekebergområdet – SB 3

Jordborrningen i Ekebergområdet utfördes i en avlagring som sedan tidigare bedömts utgöra en isälvsavlagring (fig. 28). Området utgör en åsformation mitt emellan Askersundsåsen och den nordvästra grenen av Hardemoåsen (fig. 13). I avlagringen finns ett avgränsat grundvattenmagasin med en bedömd uttagsmöjlighet på 1–5 l/s som också utgör en vattenförekomst inom vattenförvaltningen med ID WA84953992. Kunskapen i om-



Figur 28. Ekebergområdet. **A.** Jordartskarta med borrning SB 3. Kartan visar även läget för profil 1B. För teckenförklaring till jordartskartan se figur 11. **B.** Åsen vid Ekeberg i förgrunden med omgivande slättlandskap. Foto: M. Thorsbrink.

rådet är sedan tidigare begränsad och det har saknats uppgifter om såväl jordlagerföljder som grundvattennivåer. Den enda tidigare kända uppgiften är en bergborrad brunn i den södra delen som visar på ett jorddjup på 14 m (ID 105100186). Borrningen (SB 3) gjordes för att förbättra kunskapen om avlagringen och dess eventuella hydrauliska kontakt med angränsande åsar.

Borrningen utfördes centralt i åsformens längdriktning och visade inte på något välsorterat isälvsmaterial utan snarare på morän med leriga och sandiga lager närmast markytan. Först utfördes med svårighet skruvborrning ner till tre meter under markytan. Borrningen fick därefter avbrytas. Därefter utfördes sondering ned till sju meter under markytan. Inget rör kunde sättas på platsen. Att borrningen främst visar på morän skulle kunna tyda på att åsformen snarare är en drumlin än en åsrygg med sorterat isälvsmaterial. Mot bakgrund av att materialet i den åsformade ryggen helt eller delvis bedöms bestå av morän alternativt dåligt sorterat isälvsmaterial bör man överväga att ta bort området som vattenförekomst inom vattenförvaltningen samt att sänka uttagsklassen i det grundvattenmagasinet till <1 l/s.

Figur 29 visar resistivitetsmodellen längs en öst–västlig profil vid Ekeberg. Resistiviteten varierar från ca 80 till 150 ohmm i jordlagren vid läget för borrningen vilket överensstämmer med lerhaltig morän. Lerområdena vid sidan av profilen visar något lägre resistivitet i ytan.

Delområde 2: Fjugesta–Hardemo

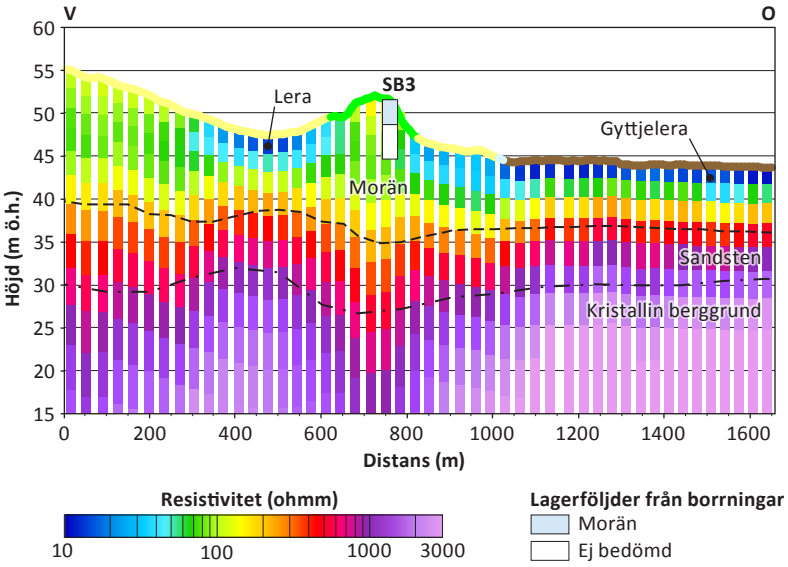
Delområde 2 ligger vid Fjugesta i den västra delen av undersökningsområdet och begränsas i väster av en nord–sydlig förkastningszon. Datatäckningen är relativt god i området (fig. 30A). Inga mätningar har utförts över tätorten Fjugesta. Data har framför allt rensats bort längs med den nord–sydliga stamledningen samt ställvis längs mindre kraftledningar och vägar.

Berggrunden utgörs till största delen av sandsten i ytan förutom några mindre områden med lerskiffer. Strax norr om Fjugesta finns ett område där alunskiffer finns bevarad i den ytligaste delen av berggrunden (fig. 9). Jordlagren domineras av moränkullar med svallgrus och däremellan områden med lera och torv (fig. 30B). Här finns även landets mest välutvecklade drumlinlandskap med ett hundratal drumliner i nord–sydlig riktning som återspeglar isrörelseriktningen i området. Två isälvsavlagringar i nord–sydlig riktning går genom området: Askersundsåsen och Hardemoåsen. Tre undersökningsborrningar i jord och berg utfördes inom området: BH 3 (Luggavi), BH 4 (Glippsta) och BH 5 (Bostället). Borrningar i jordlagren utfördes på tre platser, SB 4–SB 6 (fig. 30).

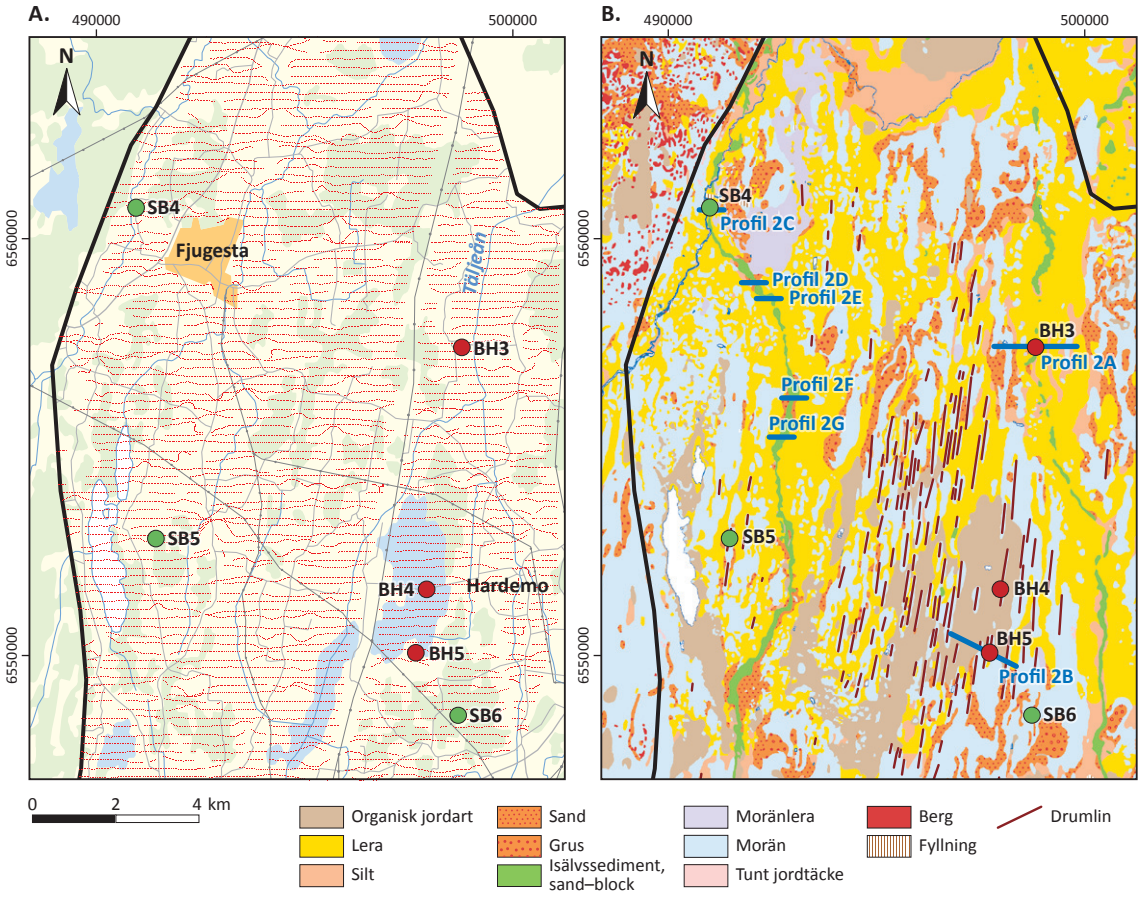
Hardemoåsen – BH 3 (Luggavi)

Borrhål 3 är beläget i en nord–sydlig dalgång där Hardemoåsen har sin sträckning (fig. 30). Åsen är i området till stora delar överlagrad av lera. Avvattningen av områdets jordlager bedöms i huvudsak ske via Täljeån som passerar isälvsavlagringen strax söder om borrningen för att därefter rinna norrut parallellt med åsen på dess östra sida. Vid åsens passage förbi Täljeån finns enligt Möller m.fl. (1971b) uppgifter om utläckande källvatten. Detta utflöde kunde inte verifieras vid fältbesök (2020-08-11). Vad gäller avvattningen av berggrunden är bedömningen mer osäker.

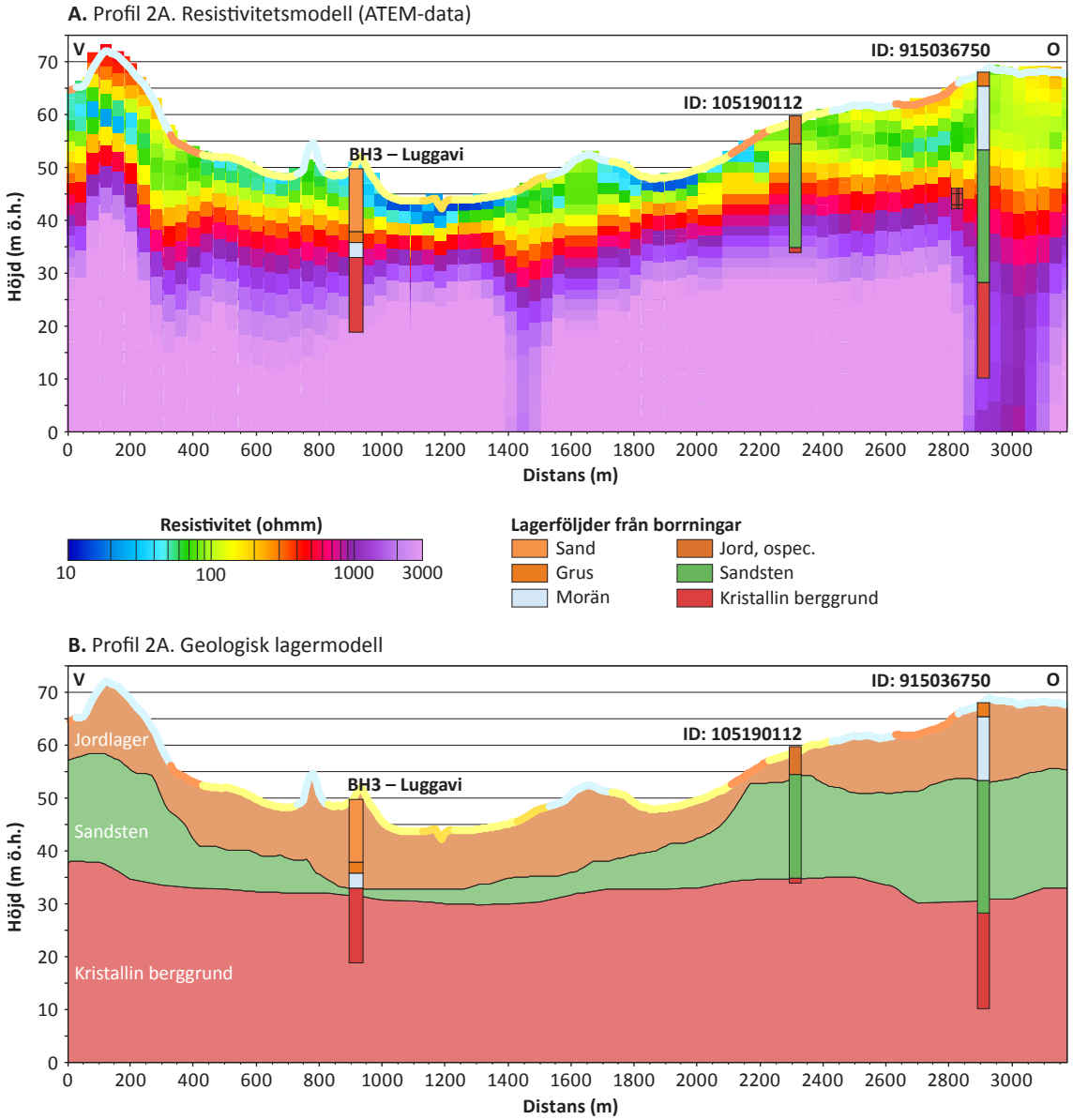
Profil 2A (fig. 31A) visar resistivitetsmodellen vid läget för borrningen längs en drygt 3 km lång profil över dalgången (fig. 30B). Jordlagren består i botten av dalgången av lera med låg resistivitet (ca 20 ohmm). Vid läget för Hardemoåsen (och borrningen SB 3) visar



Figur 29. Profil 1B. Resistivitetsmodell vid borrning SB 3. Profilens läge är markerad i figur 28A och figur 25.



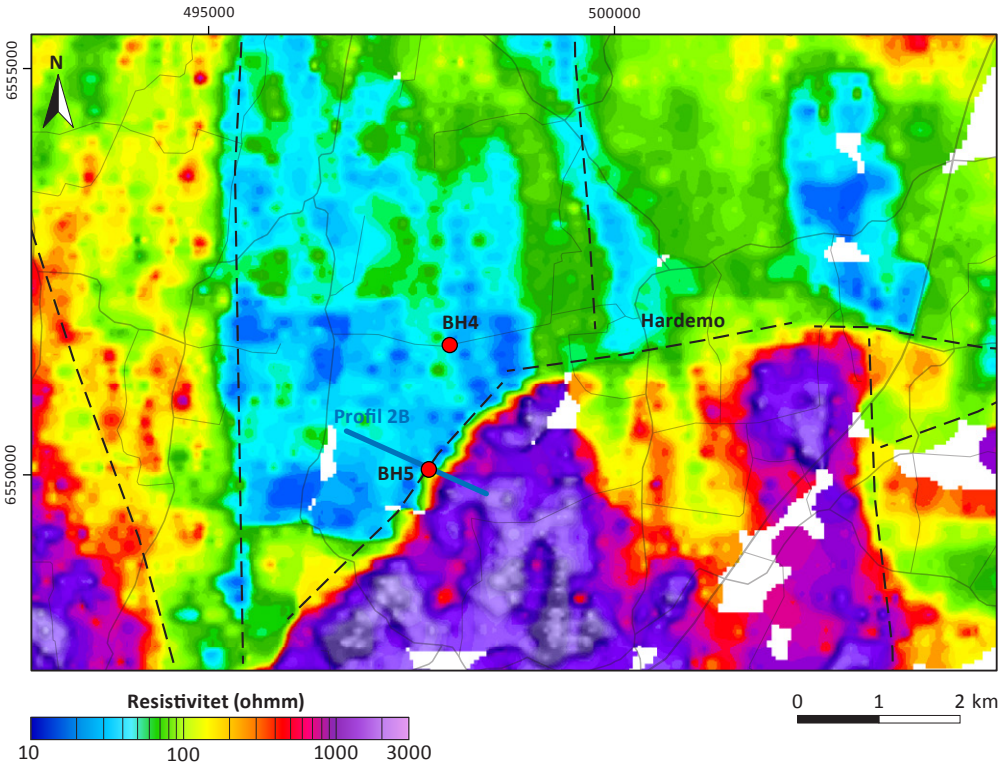
Figur 30. Delområde 2. **A.** Röda punkter och linjer visar tillgängliga mätdata efter rensning. Kartan visar även undersökningsborrningarna som utförts inom området. **B.** Jordartskartan med läget för undersökningsborrningar samt läget för de profiler (2A till 2G) som diskuteras i avsnittet.



Figur 31. Profil 2A. **A.** Resistivitetsmodell. **B.** Geologisk lagermodell som visar på möjlig glacial erosionsränna. Profilens läge är markerad i figur 30. Lagerföljd från borrning BH 3 (Luggavi) samt övriga borrningar från Brunnsarkivet.

resistivitetsmodellen något högre resistiviteter i jordlagren (40–80 ohmm). Åsen har här relativt liten utbredning och överlagras delvis av lera varför den inte kommer fram så tydligt i resistivitetsmodellen. På sidorna av dalgången förekommer sandig morän och svallsediment närmast markytan med högre resistivitet (200–400 ohmm). De underlagras ofta av jordlager med lägre resistivitet som troligtvis motsvarar moränlera eller mer vattenmättade sediment (fig. 31A).

Dalgången syns tydligt i topografin men resistivitetsmodellen indikerar även en sluttande yta inom det högresistiva lagret (>500 ohmm) som motsvarar berggrunden. Syftet med borrningen var att undersöka om läget i dalgången kunde bidra till en större vattentillgång jämfört med områden där berggrundens överyta är flackare. Borrningen utfördes genom Hardemoåsen och ner i den kristallina berggrunden till 31 m djup under markytan.



Figur 32. Medelresistivitet i intervallet 40–50 m ö.h. Kartan visar även tolkade förkastningar och deformationszoner, läget för undersökningsborrningar BH 4 och BH 5 samt läget för profil 2B.

Undersökning av borrkaxet från borrningen visade att det inte finns någon sandsten, eller endast ett ytterst tunt lager av sandsten. Den jordart som överlagrar den kristallina berggrunden innehåller bergartsfragment från både sandsten och kristallina bergarter. Detta antas bero på att sandstenen utsatts för så kallad glacial erosion av den isälv som avsatte Hardemoåsen. Bedömningen att sandstenen försvunnit till följd av en lokal erosionsränna stärks av uppgifter från närliggande brunnar vid sidan av åsen där sandstenslagret finns kvar (fig. 31). Figur 31B visar den tolkade geologiska lagermodellen som visar att sandstenslagret tunnar ut betydligt i de centrala delarna av dalgången. Den kapacitetsmätning som utfördes i samband med borrningen uppgick till 1000 l/tim och visar inte på någon anmärkningsvärt stor vattentillgång. Avsaknaden av mäktigare sandstenslager bedöms minska möjligheten till en större vattenuttag.

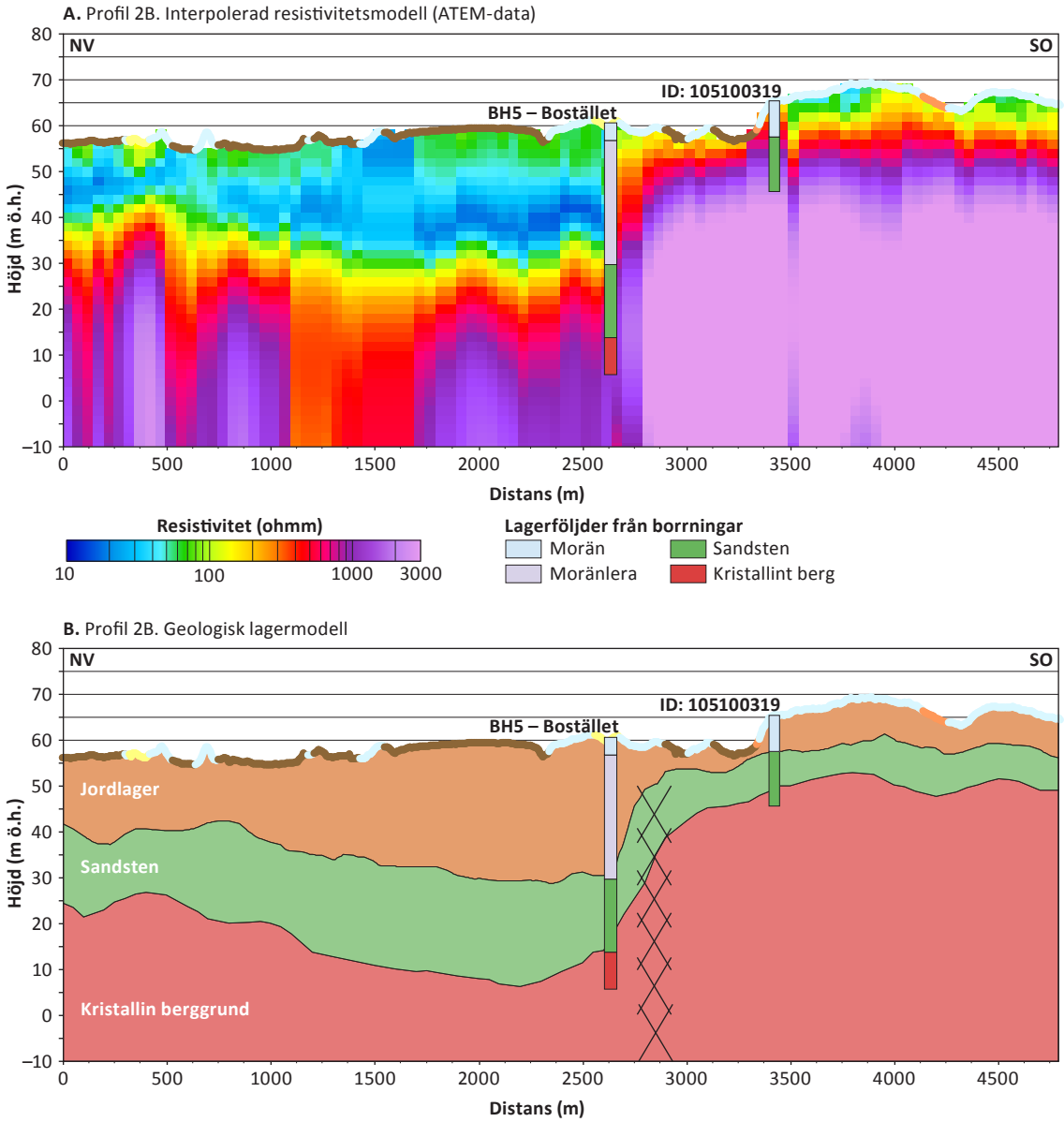
Förkastning vid Hardemo – BH 5 (Bostället)

Ett flertal förkastningar har identifierats i ATEM-data, där många varit kända sedan tidigare (fig. 20). I området sydväst om Hardemo indikerar ATEM-data en tidigare okänd förkastning i sydväst–nordostlig riktning (fig. 32). Medelresistiviteten i intervallet 40–50 m ö.h. visar en tydlig resistivitetskontrast mellan ett lågresistivt området i nordväst och ett högresistivt område i sydost.

Profil 2B visar resistivitetsfördelningen längs en drygt 4,5 km lång profil vinkelrätt mot förkastningen (fig. 33A). I profilen visas den interpolerade resistivitetsmodellen eftersom profilens sträckning inte går längs en flyglinje. Resistivitetsmodellen visar ett upp till 30 m mäktigt lågresistivt lager på den nordvästra sidan om förkastningen. Närmare markytan varierar resistiviteten mellan 50 och 60 ohmm för att sedan minska ytterligare (ca 10–20 ohmm) på

20 m djup. På den sydöstra sidan indikerar den höga resistiviteten att den kristallina berggrunden ligger på en högre nivå, dvs. närmare markytan, i jämförelse med nivån på den nordvästra sidan av förkastningen.

Borrhål 5 (Bostället) är borrat på den nordvästra sidan av förkastningen. Syftet med borrningen var att uppskatta vattenmängd samt att bestämma jord- och berglagerföljden på den västra sidan av förkastningen. Av speciellt intresse var att ta reda på om de låga resistiviteterna orsakades av lerskiffer. Borrningen visar ett jorddjup på 30 m med huvudsakligen moränlera på 15 m sandsten och därunder kristallin berggrund. Sandstenen var torr i den övre delen men är vattenförande omkring tre meter ovanför gränsen till den underliggande kristallina berggrunden. Att sandstenen är torr i den övre delen och vattenförande mot djupet bedöms bero på ett grövre konglomerat och större porvolym på större djup i sandstenslagret.



Figur 33. Profil 2B. **A.** Resistivitetsmodell. **B.** Geologisk lagermodell som visar förkastning med möjlig sprickzon. Profilens läge är markerad i figur 30 och figur 32. Lagerföljd från borrning BH 5 (Bostället) samt övriga borrningar från Brunnsarkivet.

Figur 33B visar tolkad geologisk lagermodell längs Profil 2B baserad på resistivitetsmodellen, borrning BH 5 samt andra borrningar i närheten. Det tolkade djupet till kristallint urberg visar en skillnad på ca 40 m mellan den västra respektive östra sidan av den förmodade förkastningen. Modellen visar även att sandstenen har en större mäktighet (17–20 m) på den nordvästra sidan av förkastningen i jämförelse med på den sydöstra sidan (<10 m). Omkring en kilometer längre österut försvinner sandstenslagret helt och den kristallina berggrunden bildar berggrundsytan (fig. 9).

Borrningen gav en uppskattad vattenmängd på 3 600 l/tim vilket inte är väsentligt stora mängder. Sprickzoner i berg har ofta hög vattenföring på grund av bergets högre porositet i jämförelse med sprickfattigt berg. Resultat från ATEM-mätningen indikerar tydligt en förkastning på grund av skillnaden i djup till den högresistiva kristallina berggrunden. ATEM-metoden är dock inte bra på att karaktärisera sprickzoner i kristallint berg (till exempel bredd, sprickighet och eventuell stupning). För att mer exakt lokalisera och karaktärisera eventuell sprickzon kopplad till förkastningen bör ytterligare undersökningar med till exempel markbaserade geofysiska undersökningar utföras innan man gör några provborrningar.

Askersundsåsen vid Fjugesta–Edsberg (SB 4)

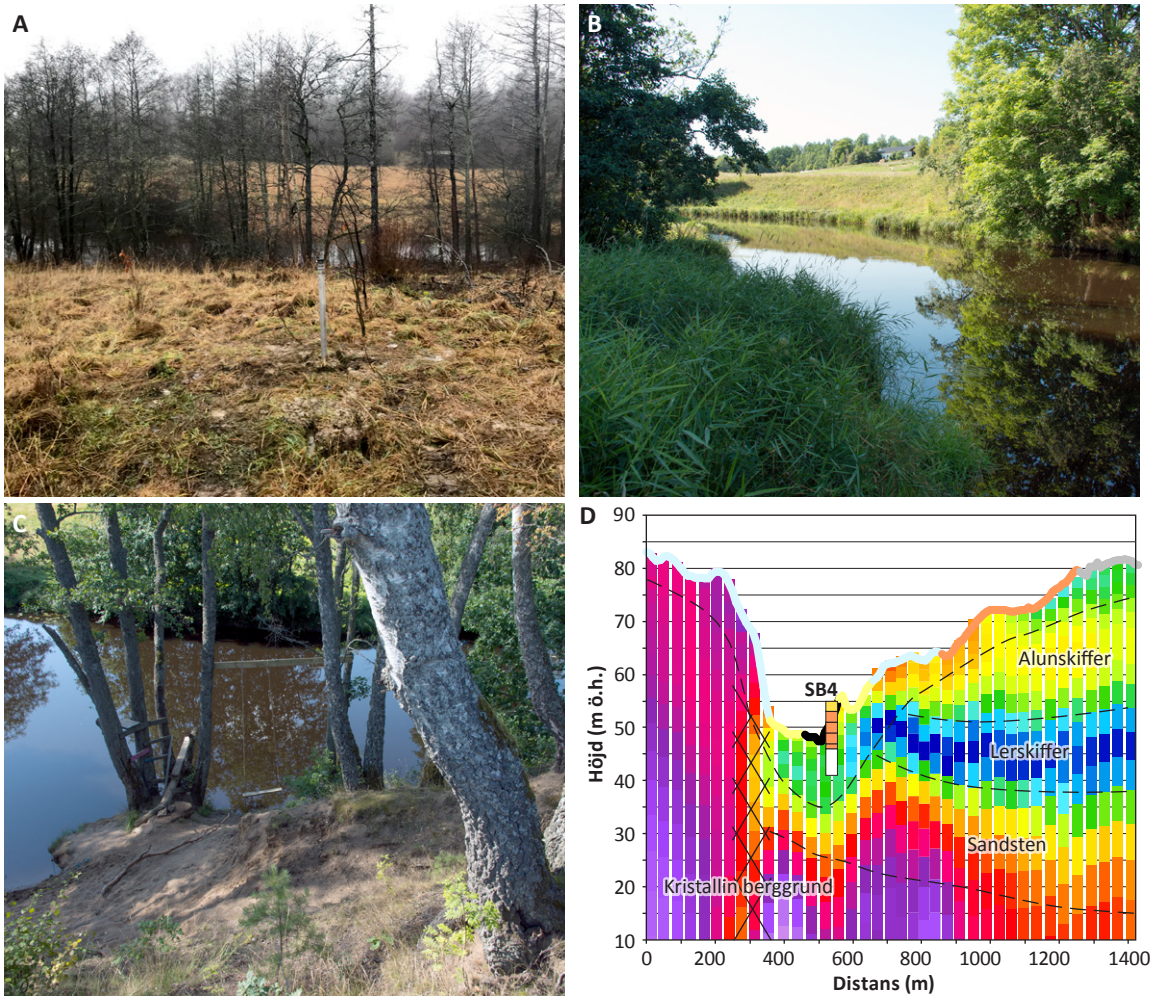
Grundvattenförhållandena i Askersundsåsen är sedan tidigare enbart karterad i regional skala (1:250 000). Mot bakgrund av detta valdes åssträckan från Fjugesta och söderut mot Edsberga ut för att visa på möjligheten att kartlägga isälvsmaterial med ATEM-data. Åsarna skiljer ofta ut sig på grund av sin högre resistivitet när omgivande jordlager består av lågresistiv lera. De kan dock vara svåra att identifiera i resistivitetsdata om utbredningen är liten och om de täcks av lerlager (jämför BH 3, fig. 31A). Ofta har man lagt vägar och annan infrastruktur längs åsarna vilket innebär att ATEM-data rensats bort i dessa områden. Detta gäller till exempel stora delar av Hallsberg–Kumlaåsen.

Som stöd för tolkningen utfördes borrning (SB 4) nordväst om Fjugesta där åsen ansluter till Svartån (fig. 30). Den specifika platsen valdes mot bakgrund av åsens ytvattennära läge som vid en god hydraulisk kontakt mellan yt- och grundvatten skulle kunna innebära goda uttagsmöjligheter.

Borrningen, som utfördes ett femtiotal meter öster om strandkanten (se fig. 34A och B), visade på omväxlande sand och silt med måttlig genomsläpplighet. Lagerföljden är 0–2 m silt, 2–4 m sand, 4–6 m finsand, 6–9 m sand och därunder 9–14 m ospecificerat då det endast gjorts sondering på djupet. Grundvattennivån i röret var i år (2020) den 11 mars 46,82 m ö.h. och 11 november 46,12 m ö.h. (SGU 2020a). Inom ramen för detta arbete har det inte utförts någon avvägning av åns nivå. Enligt Lantmäteriets skannade höjddata är nivån 47,52 m ö.h., dvs. något högre än mätningarna i grundvattenröret. I strandkanten syns inte något genomsläppligt material utan enbart tät gräsvegetation. Sammantaget har vi i dagsläget inte tillräcklig information för att säkert bedöma om det finns förutsättningar för ett betydande utbyte mellan vattnet i Svartån och grundvattnet i åsen. Grundvattenröret vid SB 4 ingår nu som en övervakningsstation i Grundvattennätet med stationsbenämningen Fjugesta_1.

En tydligare hydraulisk kontakt bedöms råda några hundra meter längre söderut där marklagren närmast strandlinjen utgörs av sand (fig. 34C). I denna del av åsen bedöms det dessutom finnas bättre förutsättningar för en tillrinning till åsen från Svartån, vilket sammantaget borde leda till bättre uttagsmöjligheter i jämförelse med läget för borrningen.

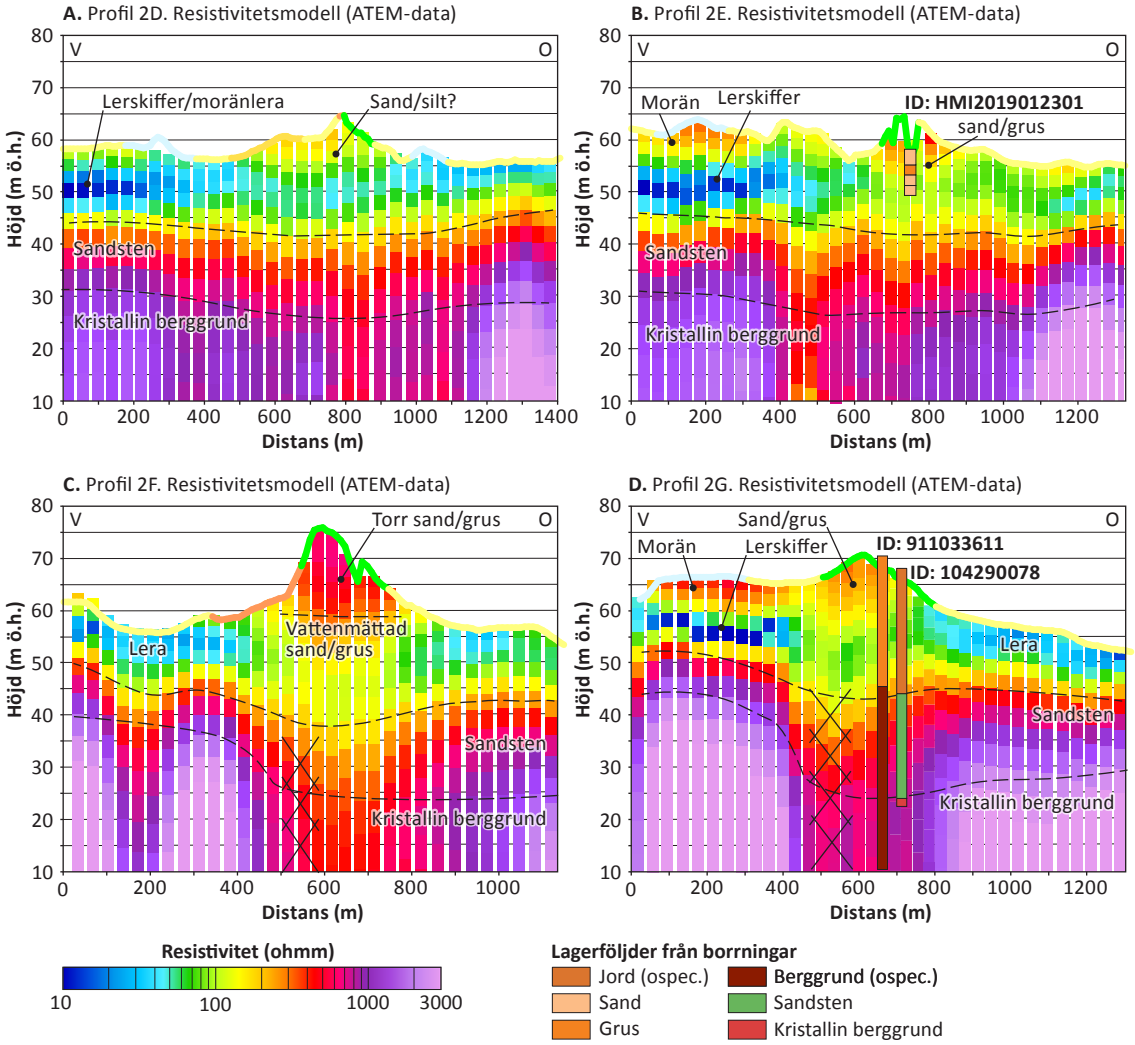
Figur 34D visar en resistivitetsmodell från ATEM-data över Svartåns dalsänka vid läget för borrningen. Resistiviteten i jordlagren i mätpunkten närmast borrningen varierar



Figur 34. A. Grundvattenrör (borrpunkt SB 4) vid Svartån, numera övervakningsstation i Grundvattennätet. Foto: Johan Öhman. **B.** Riklig vegetation vid Svartån indikerar förekomst av finkorniga sediment. Foto: Magdalena Thorsbrink. **C.** Sandstrand vid Svartån några hundra meter söder om borrpunkt SB 4. Foto: Magdalena Thorsbrink. **D.** Resistivitetsprofil 2C över Svartån vid samt lagerföljd från borrning SB 4. Profilens läge är markerad i figur 30.

från ca 200 ohmm vid markytan till ca 70 ohmm vid 20 m djup vilket indikerar torrare förhållanden vid markytan och därunder vattenmättad sand, eventuellt med inslag av finkornigare sediment. Den höga resistiviteten på den västra sidan av Svartån orsakas av torr morän ovanpå kristallin berggrund. På den östra sidan av Svartån består berggrunden av alunskiffer och lerskiffer som överlagrar sandsten och kristallin berggrund. Alunskiffern och lerskiffern är borteroderad längs ån.

Söder om borrpunkt SB 4 viker Askersundsåsen av österut och fortsätter sedan i nord–sydlig riktning söderut mot Vretstorp. I höjd med Fjugesta finns en allmän vattentäkt, och borrningar i anslutning till vattentäkten redovisade i VIAK (1972) har gett stöd i den nu utförda tolkningen. Figur 35A och B visar resistivitetsmodeller längs två profiler (Profil 2D och 2E) som korsar åsen strax söder om Fjugesta (fig. 30). Åsen är relativt tydligt avgränsad i profilerna på grund av sin något högre resistivitet i jämförelse med omgivande jordlager (postglacial lera). Närmast markytan, där materialet är torrare, varierar resistiviteterna från ca 200 till 600 ohmm och djupare ner i den vattenmättade zonen varierar resistiviteterna från ca 50 till 300 ohmm i de fyra profilerna. Lägre resistiviteter kan även indikera förekomst av finkorniga lager.



Figur 35. Resistivitetsprofiler från ATEM-data över Askersundsåsen. **A.** Profil 2D. **B.** Profil 2E. **C.** Profil 2F. **D.** Profil 2G. Profilernas läge är markerad i figur 30. Terränglinjen längs markytan är färgsatt efter jordartskartan där ljust grön färg visar isälvsavlagringen. Lagerföljder från borrningar från Brunnsarkivet.

Profil 2E (fig. 35B), visar något högre resistiviteter (ca 100–300 ohmm) i läget för åsen vilket indikerar ett grövre isälvsmaterial. Denna tolkning överensstämmer även med äldre borrningar i området vilka visar på ca 10 m vattenmättat sandigt grus och grusig sand (VIAK 1972). Ungefär 500 m väster om åsen, vid koordinat 200 längs Profil 2E, visar jordartskartan sandig morän i ytan. Den sandiga moränen visar liknande resistivitet som isälvsmaterialet (200–300 ohmm). Moränen underlagras av ett lågresistivt lager med resistiviteter ned till 10 ohmm som troligtvis motsvarar moränlera eller lerskiffer. Detta lager saknas under själva åsen sannolikt på grund av glacial erosion längs Askersundsåsens sträckning.

Figur 35C och d visar resistivitetsmodeller längs två profiler längre söderut vid Edsberg (Profil 2F och 2G). Här har åsen en något större utbredning och kommer fram som en tydlig, högresistiv struktur i resistivitetsmodellen. Resistivitetsmodellen i profil 2F visar resistiviteter upp till 600 ohmm närmast markytan vid läget för åsen vilket indikerar torr sand eller grus. Under nivån 60 m ö.h. sjunker resistiviteten till ca 100–200 m vilket sannolikt motsvarar vattenmättat åsmaterial. Även resistivitetsmodellen längs profil 2G (ca 1,5 km

söder om profil 2F) visar resistiviteter på 80–200 ohmm vilket indikerar vattenmättad sand och grus. Det bekräftas även av en borrning (SGU 2020c, borr-ID: 911033611) som visar 25 m grus.

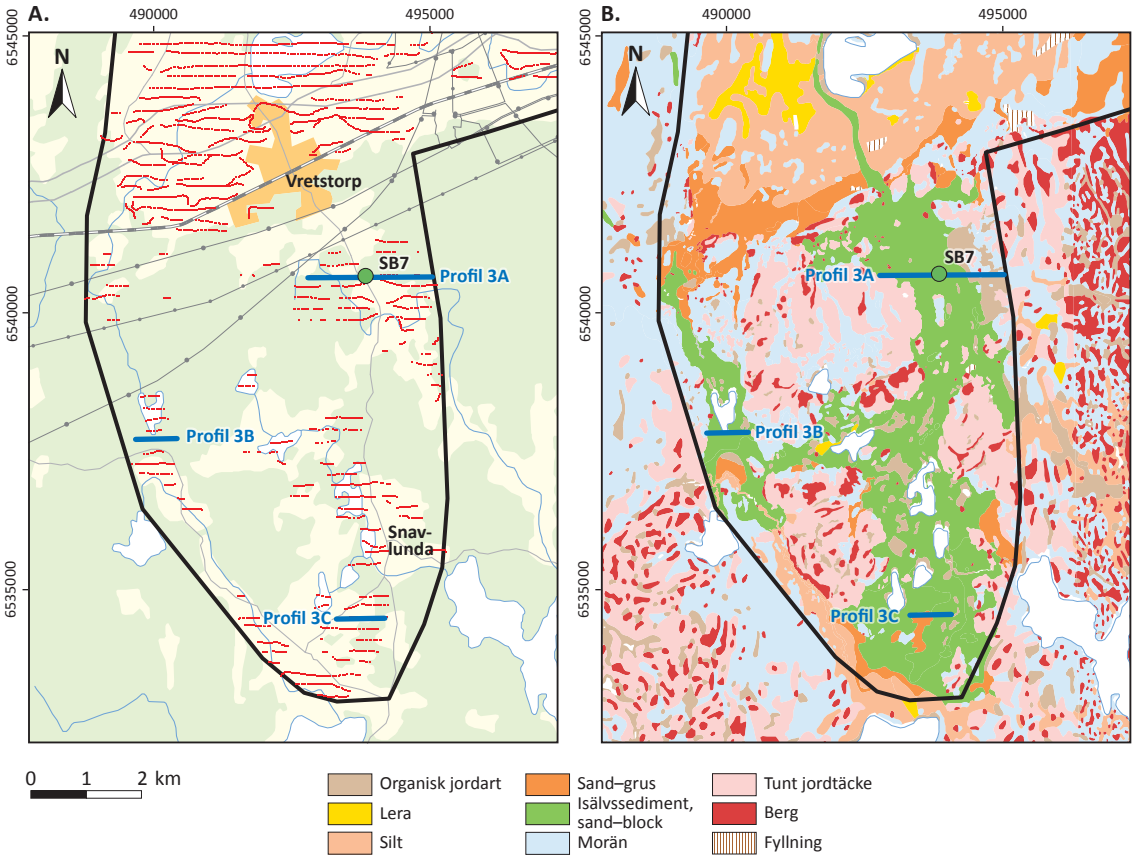
Vid Edsberga löper Askersundsåsen längs en nordnordvästlig–sydsydostlig förkastning (fig. 21). Resistivitetsmodellen visar här att den kristallina urbergsytan ligger på en högre nivå på den västra sidan av åsen. Detta är speciellt tydligt längs Profil 3G (fig. 35D). Berggrundens resistivitet är även betydligt lägre vid läget för åsen (och förkastningen) vilket kan tyda på att berget är uppsprucket.

Delområde 3: Vretstorp–Snavlunda (SB 5)

Delområde 3 ligger i den sydvästra delen av mätområdet, söder om förkastningszonen som begränsar Närkeslättens sedimentära bergarter. Här består berggrunden av kristallint berg (fig. 2 och fig. 9). Syftet med ATEM-undersökningen var att kartlägga Askersundsåsen som här har en relativt stor utbredning (fig. 36). Vidare var syftet att utvärdera hur väl mätmetoden fungerar i områden med isälvsmaterial direkt på kristallin berggrund. Förutom isälvsmaterial utgörs jordlagren i området övervägande av morän och hällområden.

På grund av markens mycket höga resistivitet erhölls ingen användbar signal från ATEM-data inom en stor del av området. Data har även rensats bort längs vägar och kraftledningar. Kvarvarande data finns i områden med större mäktigheter av isälvssediment (fig. 36).

Som stöd för tolkningen av ATEM-data utfördes en undersökningsborrning i jord (SB 7) strax söder om Vretstorp. I denna del av isälvsavlagringen finns inte någon beslu-

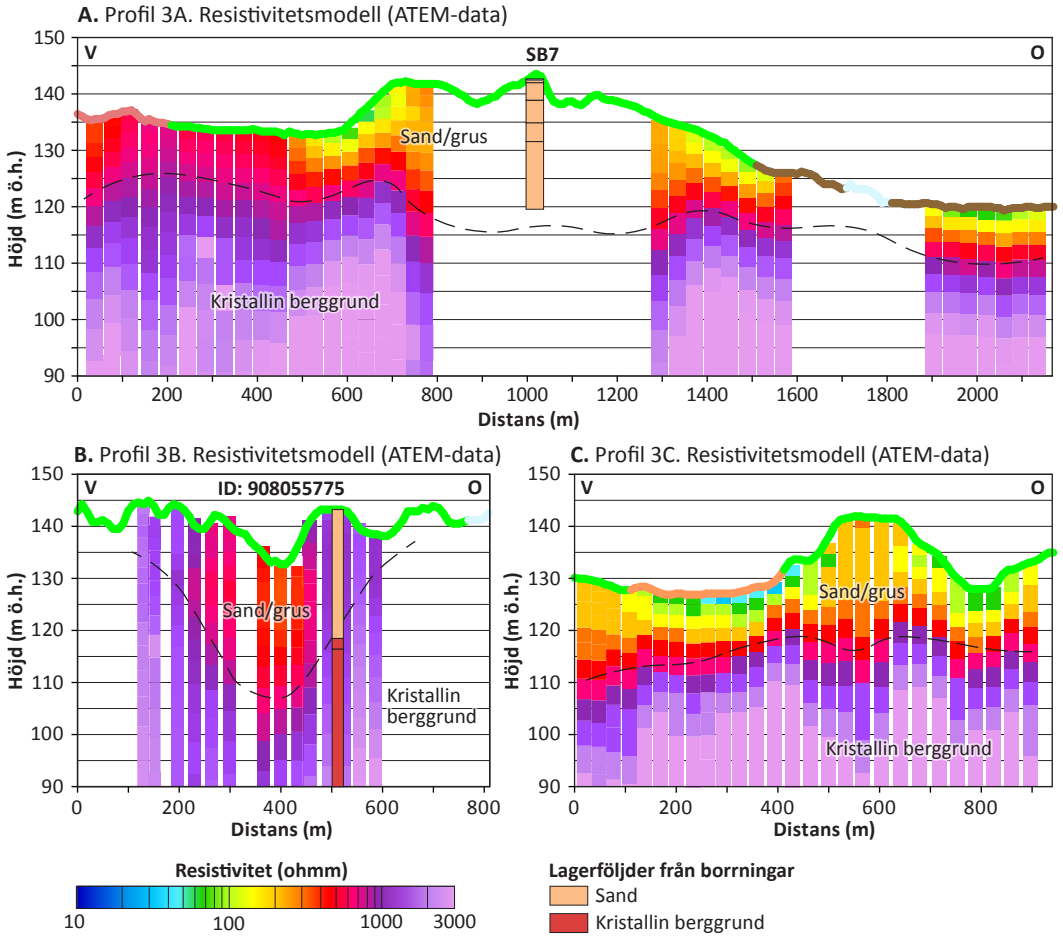


Figur 36. Delområde 3. **A.** Röda punkter och linjer i kartan visar tillgängliga mätdata efter rensning. **B.** Jordartskarta över området. Kartorna visar även läget för jordborrning SB 7 samt läget för profilerna 3A–C.

tad vattenförvaltningsförekomst (fig. 13) utan enbart ett av SGU avgränsat grundvattenmagasin med ID-beteckningen 232000231 (SGU 2020d) med en bedömd uttagsmöjlighet under 1 l/s. Borrningen utfördes ner till 23,4 m och visade på 23,1 m torr sand under ett tunt matjordslager.

Figur 37 visar tre resistivitetsprofiler från de områden där ATEM-data är användbara. Profil 3A sammanfaller med läget för borrningen SB 7. Data är borttagna precis vid borrningen på grund av störningar från infrastruktur. Vid sidan av borrningen visar resistivitetsmodellen att sanden har en resistivitet på omkring 250–300 ohmm vilket indikerar att sanden inte är helt torr. Profil 3B ligger i den västra delen av området och här visar resistivitetsmodellen att isälvsmaterialet har en något högre resistivitet på ca 400–1000 ohmm vilket tolkas som att det är grövre och mindre vattenmättat. Profil 3C ligger längre söderut, inom området med vattenförvaltningsförekomst Askersundsåsen, Snavlundaområdet med ID WA44659109 (fig. 13). I resistivitetsmodellen visar isälvsmaterialet liknande resistivitet som Profil 3A, dvs. 250–300 ohmm.

ATEM-metoden är inte helt optimal i områden med högresistiv kristallin berggrund som detta område. Resultatet från denna undersökning kan dock, i kombination med kompletterande markgeofysik samt ytterligare borrningar, användas för att förbättra avgränsningen av det grundvattenmagasin som finns avgränsat i SGUs databas. En översyn av grund-



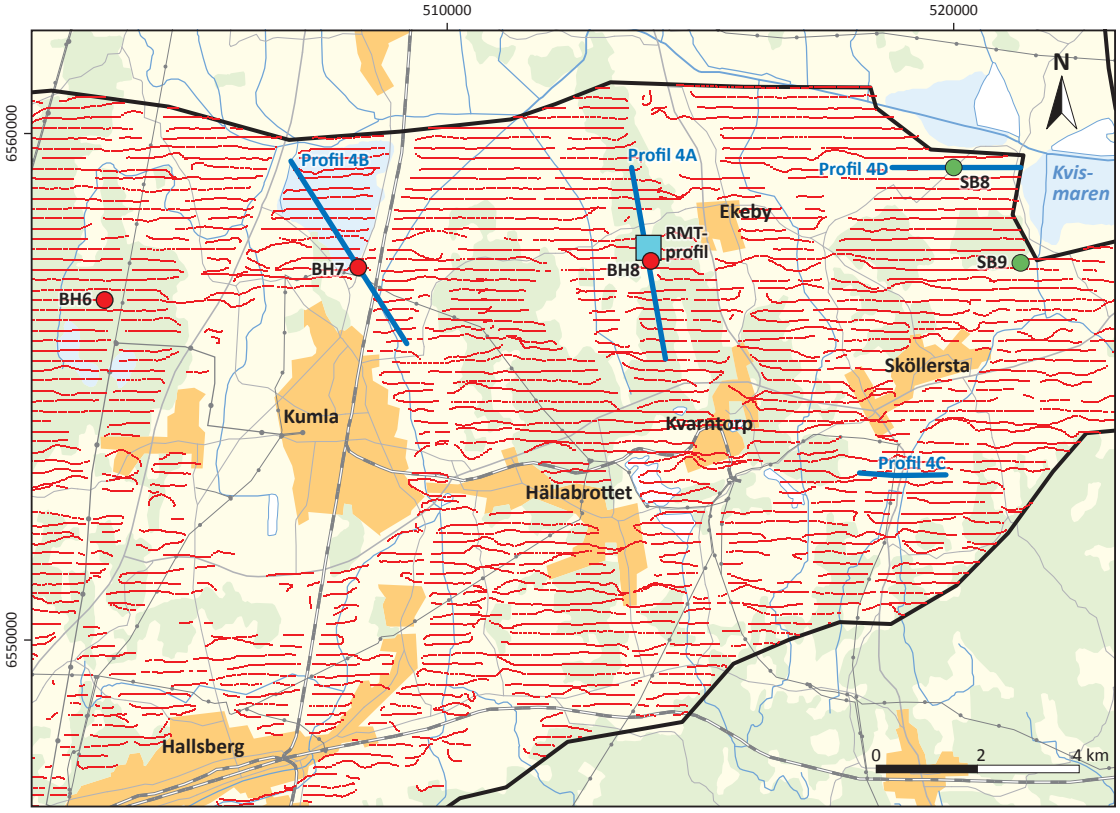
Figur 37. Resistivitetsmodell från ATEM data längs **A.** profil 3A, **B.** profil 3B och **C.** profil 3C. Terränglinjen längs markytan är färgsatt efter jordartskartan där ljust grön färg visar isälvsavlagringen. Lagerföljder från borrningar från Brunnsarkivet.

vattenmagasinets geometri bör göras då den i hög grad avviker från geometrierna för de grundvattenförekomster som finns beslutade inom vattenförvaltningen (WA90675915, WA26860908 och WA44659109).

Delområde 4: Kumla–Sköllersta

Delområde 4 ligger i den centrala delen av undersökningsområdet med tätorterna Hallsberg, Kumla och Sköllersta (fig. 38). Området är relativt flackt och genomkorsas av de nord–sydliga isälvsavlagringarna Kumla-Hallsbergsåsen och Svennevadsåsen (fig. 39). Förutom de vanligast förekommande jordarterna lera och morän finns här även större områden med torv och gyttjelera (Ekebymossen och området vid Kvismaren). Berggrundsytan består till största delen av sandsten. I två områden, strax norr om och sydväst om Kumla, saknas sedimentär berggrund och berggrunden utgörs här av kristallin berggrund (fig. 9). Hela den sedimentära lagerföljden med kalksten överst finns bevarad i områdets sydöstra del mot den södra förkastningsbranten (fig. 9). Kvarntorp är en ort i den centrala delen av området där det bröts alunskiffer för utvinning av olja under åren 1941–1965. Avfallet från oljeutvinningen samlades på Kvarntorpshögen som idag utgör Närkeslättens högsta punkt på 157 m ö.h.

Inom delområdet saknas ATEM-data från relativt stora områden. Detta beror på att inga flygmätningar utförts inom tätorterna (fig. 38). Dessutom råder flygförbud inom två kilometers radie från Kumlaanstalten. Data har även rensats bort längs större vägar, järnväg och kraftledningar. Tre undersökningsborrningar i jord och berg utfördes inom området: BH 6 (Vallersta, bilaga 2), BH 7 (Säbylund) och BH 8 (Ekeby). Borrningar i jordlagren utfördes



Figur 38. Delområde 4. Röda punkter och linjer visar tillgängliga mätdata efter rensning. Kartan visar även de undersökningsborrningar som utförts i jord och berg inom området, läget för RMT-profilen samt läget för de profiler som diskuteras i avsnittet (profilerna 4A–D).

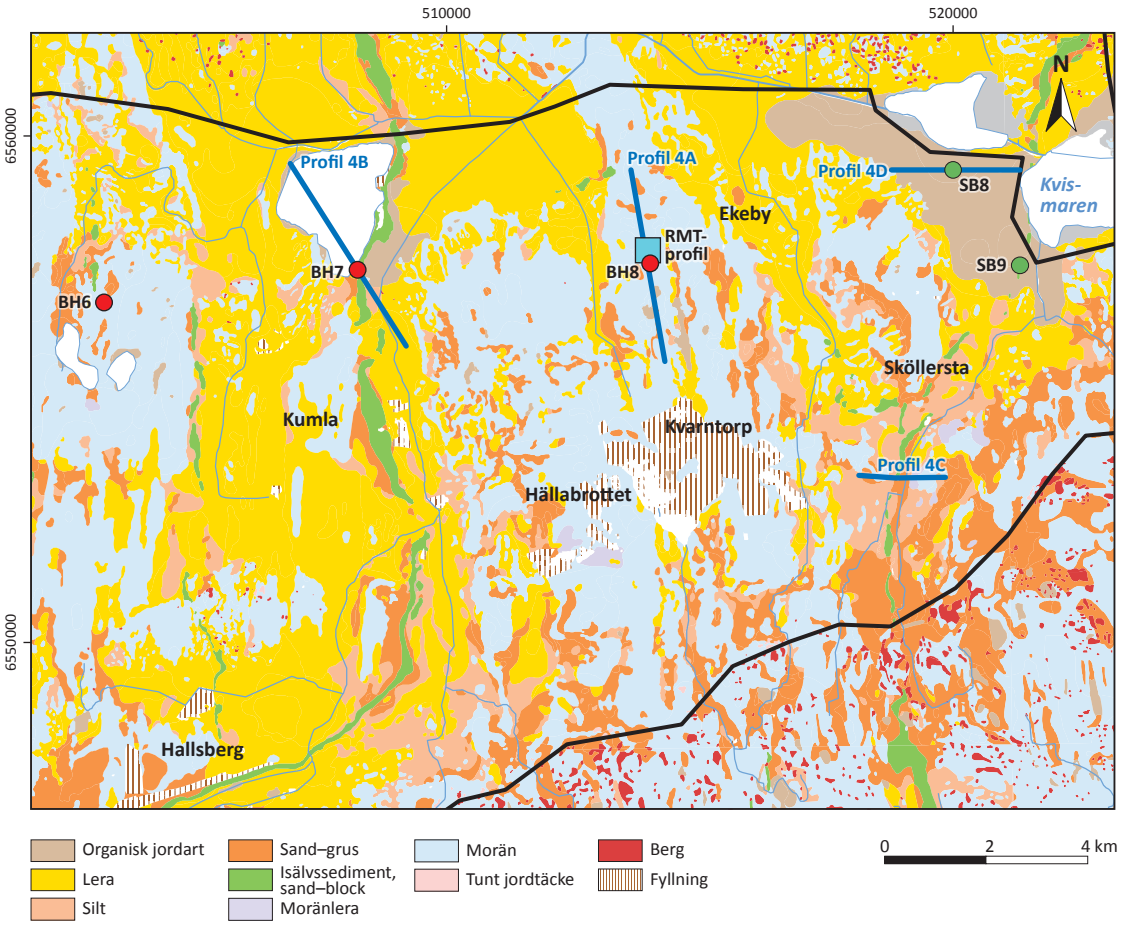
på två platser: SB 8 och SB 9 (fig. 38 och 39). Dessutom mättes en geofysisk markprofil med RMT-metoden (fig. 8) i anslutning till BH 8.

Förkastning vid Kumla–Ekeby (BH 6, BH 7 och BH 8)

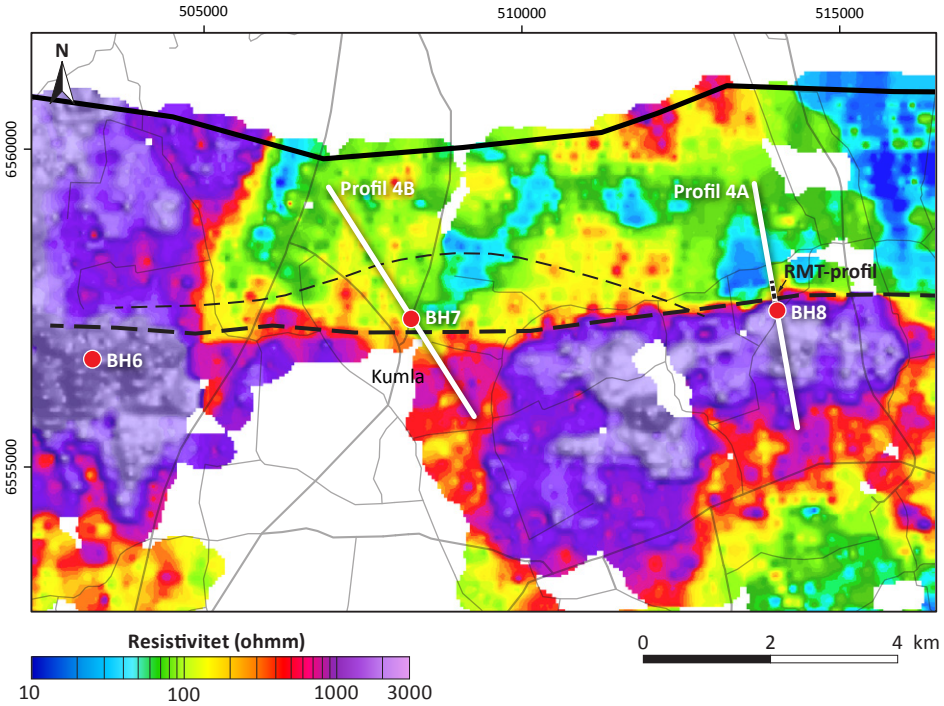
I området strax norr om Kumla indikerar resistivitetsdata en ca 15 km lång, öst–västlig förkastning med en annan sträckning än den som tidigare angivits på berggrundskartan (fig. 20 och fig. 9). Figur 40 visar medelresistiviteten i höjdintervallet 40–50 m ö.h. där läget för förkastningen är markerad med en tjockare streckad linje. Förkastningen finns tolkad i den äldre berggrundskartan men har där en annorlunda sträckning samt placerad omkring en kilometer längre norrut, där den även utgör gräns mellan kristallin berggrund i söder och ett smalt område med sandsten i norr (fig. 9).

Tre undersökningsborrningar i jord och berg (BH 6–BH 8) utfördes i anslutning till förkastningen (fig. 40). Borrhål 6 och 8 utfördes på den södra sidan och borrhål 7 på den norra sidan av förkastningen. Dessutom mättes en markprofil med RMT-metoden i anslutning till BH 8. Borrningarna utfördes för att ge stöd i bedömningen av förkastningens läge samt för att undersöka sandstenens mäktighet.

Profil 4A visar resistivitetsmodellen längs en drygt fyra kilometer lång nord–sydlig profil öster om Kumla (fig. 41A). Flygriktningen är inte optimal i förhållande till förkastningen eftersom den i stort sett är parallell med denna. Det innebär att det är ca 200 m mellan varje



Figur 39. Delområde 4. Jordartskarta över området. Kartan visar även de undersökningsborrningar som utförts i jord och berg inom området, läget för RMT-profil samt läget för de profiler som diskuteras i avsnittet (profilerna 4A–D).

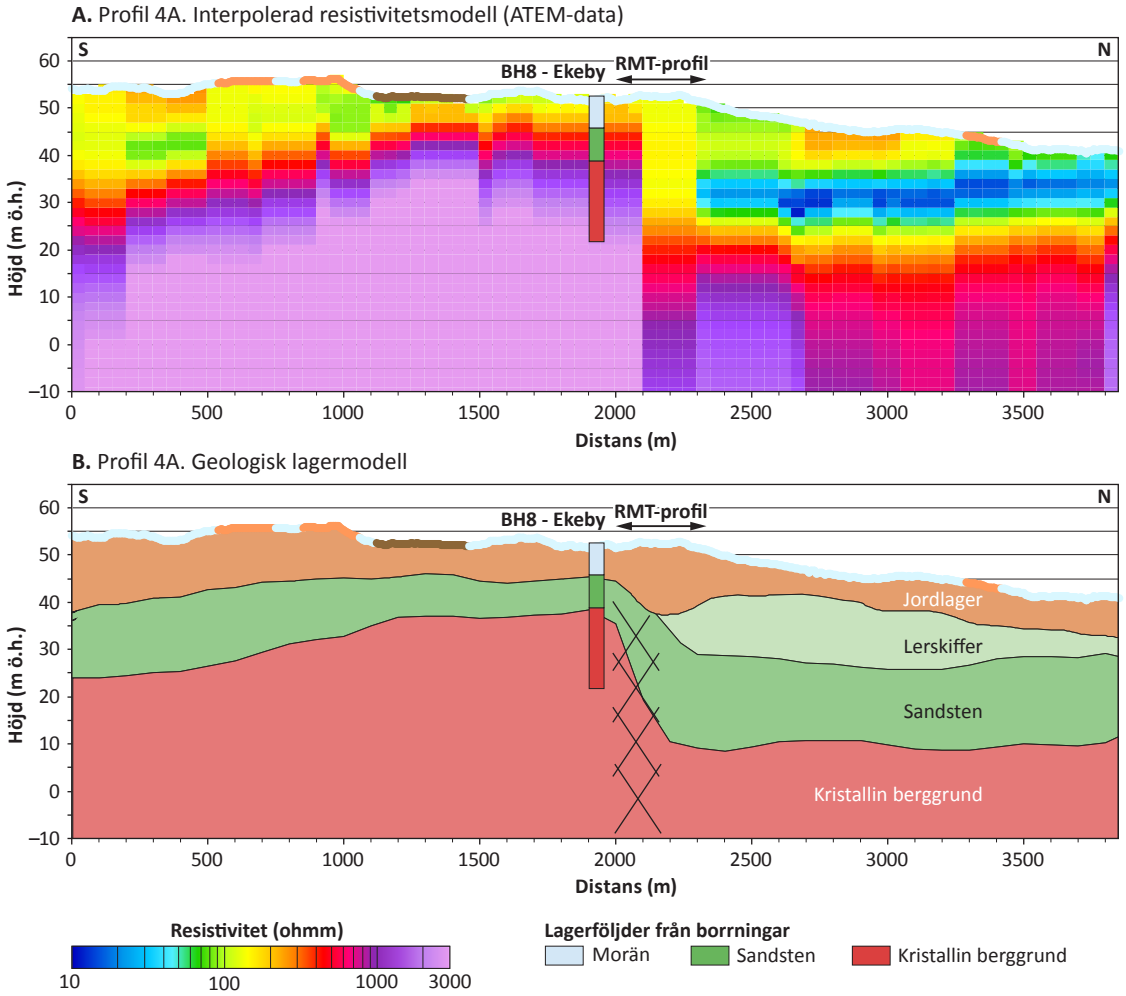


Figur 40. Medelresistivitet i intervallet 40–50 m ö.h. Resistivitetsdata saknas över tätorten Kumla. Bilden visar läget för undersökningsborrningarna BH 6–BH 8, profilerna 4A och 4B samt RMT-profilen. Tjockare streckad linje visar förkastningen som tolkats från ATEM-data och den tunnare streckade linjen visar tidigare tolkad förkastning (figur 9).

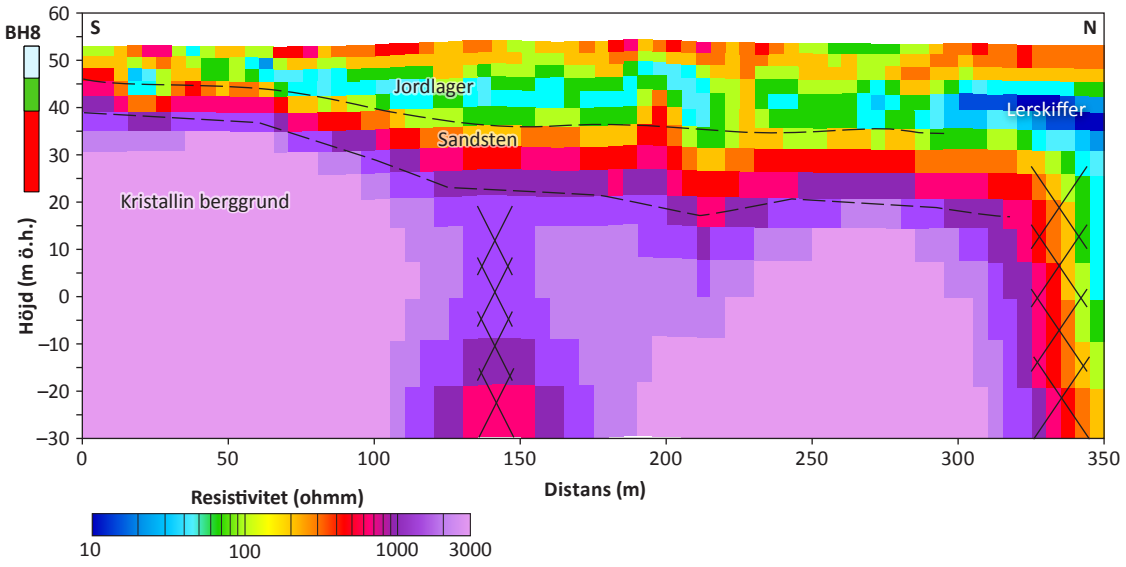
mätpunkt och förkastningens exakta läge blir därför svårt att bestämma. I profilen visas därför den interpolerade resistivitetsmodellen för att få en heltäckande modell. Resistivitetsmodellen visar närmast markytan ett lågresistivt lager (100–200 ohmm) motsvarande jordlagren som mestadels består av morän (fig. 39). Vid ca 2100 m längs profilen visar resistivitetsmodellen en tydlig förkastning där de högresistiva lagret (>500 ohmm) motsvarande sandsten och kristallint urberg ligger på en betydligt lägre nivå på den norra sidan i jämförelse med den södra. Den tydliga förändringen vid 2000 m förstärks dock av att det här är långt mellan datapunkterna. På den norra sidan förkastningen finns även ett lågresistivt lager (ca 10–20 ohmm) som motsvarar lerskiffer.

Planen var ursprungligen att sätta Borrhål 8 (Ekeby) några hundra meter längre norrut längs profilen, på den norra sidan av förkastningen. Vägen var dock inte framkomlig för en borrbandvagn (fig. 8) och borrningen placerades därför på den södra sidan av förkastningen. Borrningen visar morän följt av 6 m sandsten ovanpå kristallin berggrund (fig. 41) och resulterade inte i något mätbart vattenflöde. Den geologiska lagermodellen (fig. 41B) baserad på resistivitetsmodellen samt borrningar i området visar en tydlig förkastning där tolkat djup till kristallint urberg ger en nivåskillnad på ca 30 m mellan den södra och den norra sidan av förkastningen. Modellen visar även att sandstenen har en betydligt större mäktighet på den södra sidan av förkastningen (ca 20 m) och att den där överlagras av lerskiffer.

För att få en mer detaljerad karaktärisering av området vid förkastningen uppmättes en kort markprofil med RMT-metoden. Denna metod ger högre upplösning än ATEM-mätningen eftersom profilen går vinkelrätt över förkastningen och mätpunktsavståndet är 10 m. Metoden är dessutom bättre på att detektera sprickzoner i högresistiv berggrund i jämförelse med ATEM. Resistivitetsmodellen från RMT-mätningen (fig. 42) visar, i likhet



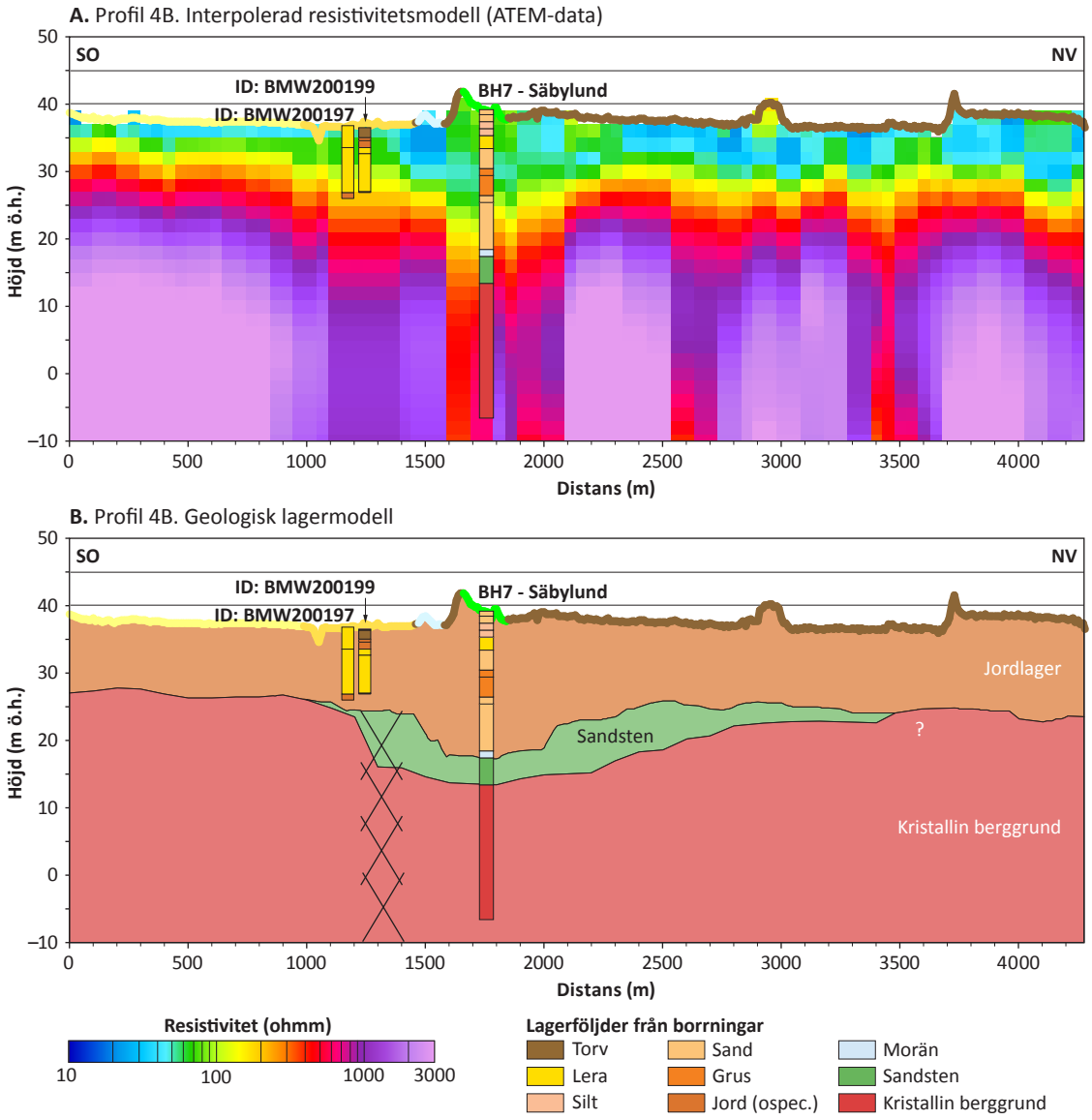
Figur 41. Profil 4A. **A.** Resistivitetsmodell. **B.** Geologisk lagermodell. Lagerföljd från borrning BH 8 (Ekeby).



Figur 42. Resistivitetsmodell från markmätning med RMT-metoden. Profilens läge är markerad i figurerna 38–40. BH 8 (Ekeby) ligger strax söder om profilens början.

med ATEM-modellen, ett lågresistivt jordlager i ytan och ökande resistiviteter mot djupet motsvarande sandsten (ca 500 ohmm) och kristallint berg (>3000 ohmm). Resistivitetsmodellen från RMT-mätningen har dock en högre upplösning inom jordlagren och visar förekomsten av ett mer högresistivt lager närmast markytan, motsvarande torrare morän, och lägre resistivitet vid ca 5 m djup, motsvarande mer vattenmättade sediment. Två lågresistiva zoner framträder i den kristallina berggrunden vid 150 m samt vid slutet av profilen vid 330–350 m. Den första zonen vid 150 m orsakas troligtvis av en sprickzon. Vid 330 m sjunker resistiviteten markant även på större djup och detta är troligtvis läget för förkastningszonen. Tyvärr är profilen för kort för att göra någon säker bedömning på förkastningens stupning och bredd.

Profil 4B (fig. 43) ligger till stor del inom Kumla–Hallsbergsåsens dalgång. ATEM-data saknas direkt söder om BH 7 på grund av närheten till tätorten Kumla och därför går profilen i nordväst–sydostlig riktning. Profilen korsar isälvsavlagringen vid läget för BH 7 (Säby-



Figur 43. Profil 4B. **A.** Resistivitetsmodell. **B.** Geologisk lagermodell. Lagerföljder från BH 7 (Säbylund) samt övriga borrningar från Brunnsarkivet.

lund) och fortsätter sedan ut över Ekebymossen (fig. 39). Resistivitetsmodellen visar ett lågresistivt, relativt mäktigt lager i ytan motsvarande jordlagren som huvudsakligen består av lera. Inom området vid Ekebymossen överlagras leran av torv (fig. 39). Förkastningen är inte lika lätt att urskilja i detta område (fig. 40 och fig. 43A). Troligtvis är detta en följd av glacial erosion där berggrunden blivit borteroderad av den isälv som avsatte åsen.

Borrhål 7 (Säbylund) borrades genom isälvsavlagringen Hallsberg–Kumlaåsen inom grundvattenförekomsten WA71962529 (fig. 13) och visar 22 m isälvssediment, följt av ett tunt sandstenslager på kristallint urberg (fig. 43). Vattenmängden uppskattades till 3 500 l/tim efter avslutad borrning. Figur 43B visar den tolkade geologiska lagermodellen. Borrningen samt indikationer i resistivitetsdata visar att sandsten förekommer inom ett bredare område än vad som tidigare varit känt (fig. 9). Enbart från resistivitetsdata är det svårt att bestämma gränsen mot kristallin berggrund i norr, dvs. var sandstenen försvinner helt och den kristallina berggrunden utgör berggrundsytan, eftersom det saknas borrningar i dett område.

Resultatet från borrhål 6 (Vallersta, bilaga 2) längre västerut visade ett tunt moränlager följt av ca 10 m sandsten ovanpå kristallint berg, det vill säga en liknande lagerföljd som i borrhål 8. Vattenmängden uppskattades till 500 l/tim efter avslutat borrning. Detta borrhål har även undersökts med geofysisk loggning som redovisas i bilaga 2.

Resultatet från borrningarna på den södra sidan om förkastningen (BH 6 och BH 8) visade på mycket små vattenmängder (<500 l/tim). Detta är inte oväntat då båda platserna kännetecknas av relativt små jorddjup, ett tunt lager sandsten och högt liggande kristallin berggrund (fig. 41B). Något större vattenmängd (3500 l/tim) erhölls i borrhål 7 som borrades på den norra sidan av förkastningen och genom isälvsediment (fig. 43). Sandstenen är även här tunn vilket minskar magasineringsförmågan. Ytterligare en aspekt ur grundvattensynpunkt är närheten till Ekebymossen som kan påverka vattenkvaliteten. Resultat från en grundvattenundersökning strax norr om borrhål 7 anger att vattnet från fem borrningar luktar svavelväte vilket tyder på dålig omsättning (Akva Terra 1998).

Större uttagsmöjligheter bedöms finnas på den östra sidan av Hallsberg–Kumlaåsen där förkastningen är tydligare markerad (fig. 40), dvs. i området vid profil 4A, antingen direkt i zonen med förmodat uppsprucket berg eller i området strax norr om zonen där sandstenens mäktighet bedöms vara mer än 15 m (fig. 41B och fig. 19).

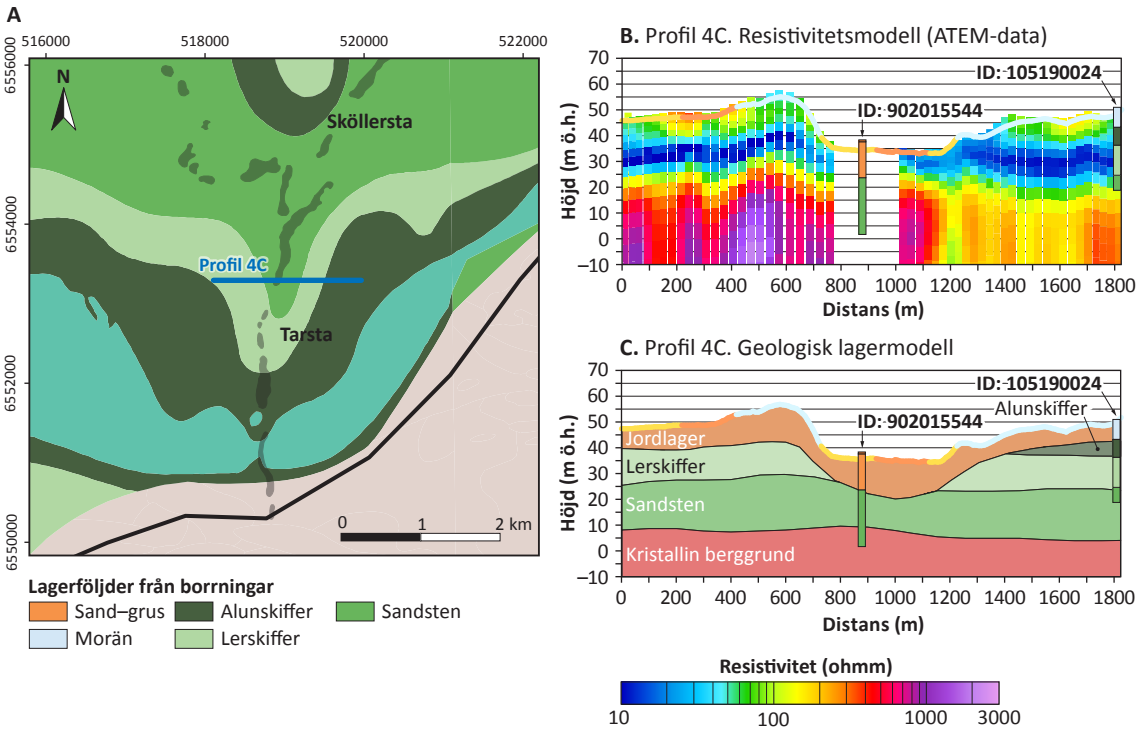
Svennevadsåsen vid Kvismaren (SB 9)

I Svennevadsåsen (även kallad Glanshammarsåsen) utfördes en jordborrning söder om Kvismaren (fig. 39 och fig. 44). Platsen valdes mot bakgrund av läget i anslutning till åsen i kombination med stora områden med torv. Detta är en miljö som är karaktäristisk och återkommande på flera platser till följd av Kvismarens och Hjälmarens nivåavsänkning.

Grundvattenförhållandena i Svennevadsåsen vid Kvismaren är kartlagda i skala 1:50 000 och finns redovisade på två till varandra angränsande kartblad med tillhörande beskrivningar (Möller m.fl. 1971a, b, Möller m.fl. 1974a, b). Åsavsnittet vid Kvismare kanal motsvaras av grundvattenförekomsten Svennevadsåsen, Sköllerstaområdet (WA90512789, fig. 13). Av de äldre kartorna framgår att lågpunkten lägsta nivån för grundvattnet finns i våtmarksområdet strax söder om Kvismare kanal. Till lågpunkten strömmar grundvattnet från åsen i norr och från vattendelaren strax norr om Pålsboda i söder (Möller m.fl. 1974, Möller m.fl. 1971). Uttagsmöjligheten i magasinet är bedömd till 5–25 l/s.

Borrningen (SB 9) visade 22 m isälvsediment (3 m sand följt av 19 m grus) och stora vattenmängder erhölls. Vattenkvaliteten kan dock vara mindre god på grund av närheten till områden med gyttjejordar. För att ytterligare utvärdera förutsättningarna

Figur 44. Grundvattenrör vid borrning SB 9. Denna är numera övervakningsstation i Grundvattennätet (Örebro_1). Foto: Viktor Plevrakis.



Figur 45. A. Berggrundskartan samt Svennevadsåsen markerad i grått vid Tarsta. **B.** Geologisk lagermodell. **C.** Resistivitetsmodell. Profilens läge är markerad i figur 45A. Lagerföljder från borrningar från Brunnsarkivet.

för grundvattenuttag inom åsavsnittet så rekommenderas såväl vattenprovtagning som vattenprovpumpning.

Svennevadsåsen vid Tarsta

Berggrunden i området vid Tarsta utgörs av alunskiffer som underlagras av lerskiffer och sandsten, men vid läget för Svennevadsåsen saknas lerskiffer och alunskiffer och sandstenen utgör berggrundsytan (fig. 45A). Enligt Möller m.fl. (1971) bedöms åsen i höjd med Tarsta, ca 3 km söder om Sköllersta och vidare norrut, vara dränerande på grundvattnet i

Figur 46. Jordborrning SB 8 och provtagning av gyttjejordar vid Kvismaren. Foto: U. Boivie.

den underliggande sandstenen. Hur stor vattenmängd det rör sig om och var det har sitt naturliga utlopp är inte helt klarlagt.

Figur 45B och C visar resistivitetsmodellen och den tolkade geologiska lagermodellen längs profil 4C. Resistivitetsmodellen visar närmast markytan på bägge sidorna av dalgången ett relativt högresistivt lager (80–200 ohmm), motsvarande alunskiffer, som underlagras av lågresistiv (10–30 ohmm) lerskiffer. Dessa lager saknas vid läget för åsen och modellen visar att berggrunden sannolikt utsatts för glacial erosion av den isälv som avsatte Svennevadsåsen (fig. 45B och C). Avsaknaden av tätande skiffer till följd av denna erosion bidrar sannolikt till en dränering av sandstenen.

Sulfidhaltiga gyttjejordar vid Kvismaren (SB 8)

Gyttjejordar (leror med varierande halt av organiskt material) finns på stora ytor inom de områden som blivit påverkade av Kvismarens och Hjälmarens avsänkning (fig. 11, Lennqvist 2007). Området med gyttjejordar runt Kvismaren skiljer ut sig på grund av sin mycket låga resistivitet (ofta mindre än 10 ohmm) i jämförelse med andra lerjordar inom undersökningsområdet som vanligtvis uppvisar resistiviteter på 10–80 ohmm. Här utfördes en borrning (SB 8, fig. 46) i syfte att få bättre kunskap om jordlagerföljden och djup till berg.

På grund av förekomsten av gyttjejordar i området finns risk att vissa är sulfidhaltiga. Sulfidhaltiga gyttjejordar kan vid dränering ge upphov till så kallade sura sulfatjordar vilket kan leda till att omgivande vatten periodvis får höga sulfat- och metallhalter. I samband med borrningen togs därför prov på en åtta meter lång borrkärna och mätningar av pH utfördes dels direkt efter borrning, dels 10 veckor senare. Sammantaget visar provet inte på förekomst av aktivt sur sulfatjord men att det på platsen finns sulfidhaltig jord som vid oxi-

dation kan aktiveras vilket skapar sura förhållanden. Detta kan leda till att för miljön skadliga metaller mobiliseras till omgivande vatten.

Profil 4D (fig. 47A) visar en resistivitetsmodell längs en drygt två kilometer lång profil vid platsen för borrningen. Modellen visar mycket låga resistiviteter från markytan och ned till ett djup av 8–10 m. Borrningen visar på 0,3 m torv följt av gyttjelera ned till ett djup av 8 m. Sonderingen fortsatte sedan till 14 m. Mellan 8 och 14 m togs inget jordprov men jordarten bedömdes som kohesionsjord (lera–silt). Figur 47B visar resistiviteten som funktion av djup vid läget för borrningen. Resistiviteten är som lägst 3 ohmm vid 4–7 m djup. Den låga resistiviteten beror sannolikt på att gyttjeleran på detta djup är avsatt i bräckt vatten när området var en havsvik och därför har en högre kloridhalt. De övre lagren med gyttjelera består däremot av sjösediment och är avsatta i sött vatten och har därför en något högre resistivitet.

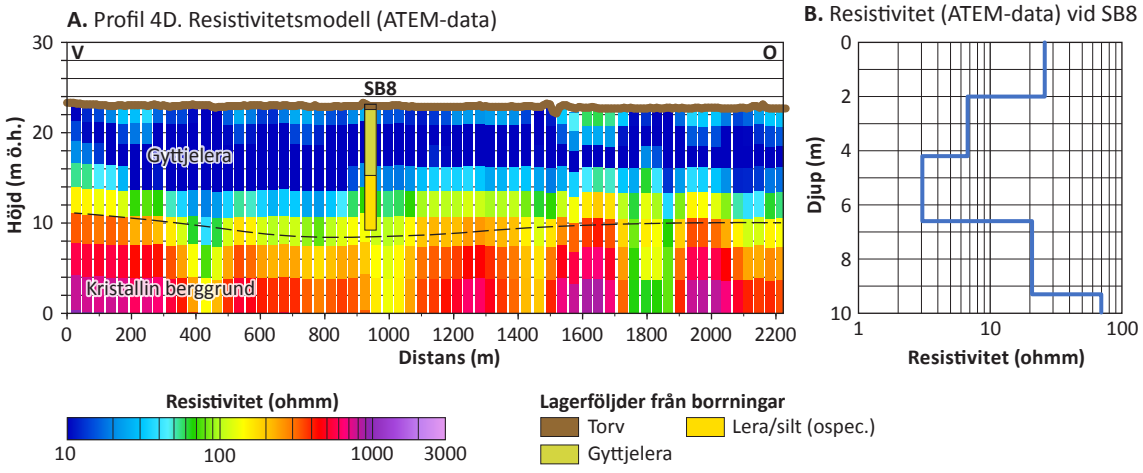
Även tidigare undersökningar av sulfidhaltiga sediment i Mälardalen visar att sulfidhaltiga gyttjejordar generellt har mycket låg resistivitet, vanligtvis mindre än 10 ohmm (Sohlenius m.fl. 2007, 2008). Den låga resistiviteten orsakas troligtvis även här av att gyttjejordarna är avsatta i bräckt vatten och har ett högre kloridinnehåll.

Vid SGU pågår ett arbete med att bygga upp kunskapen kring förekomsten av sura sulfatjordar i Sverige (Becher m.fl. 2019, https://www.sgu.se/anvandarstod-for-geologiska-fragor/hur-man-kanner-igen-och-undersoker-sur-sulfatjord/).

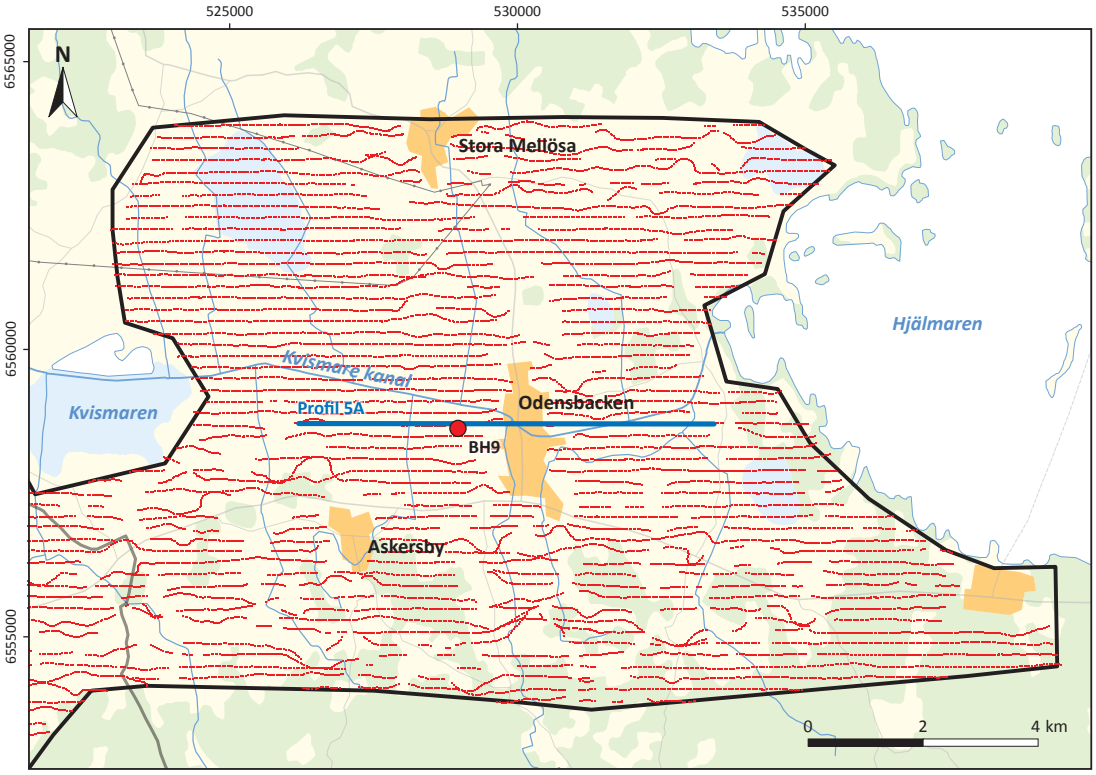
Delområde 5: Odensbacken och östra delen av området

Delområde 5 ligger i den östra delen av undersökningsområdet och avgränsas i öster av Hjälmaren (fig. 48). Området genomkorsas av de nord–sydliga isälvsavlagringarna Stora Mellösaåsen och Lännäsåsen (fig. 13). I övrigt består jordarterna i den norra delen främst av lera och torv och längre söderut påträffas stora områden med morän och svallsand (fig. 11). Berggrunden utgörs av sandsten förutom längst i söder där hela den sedimentära lagerföljden med kalksten överst finns bevarad (fig. 9). En undersökningsborrning i berg utfördes inom området (BH 9 Valsta, bilaga 2). Datatäckningen är relativt god inom området förutom över tätorterna där ingen flygmätning utförts (fig. 48).

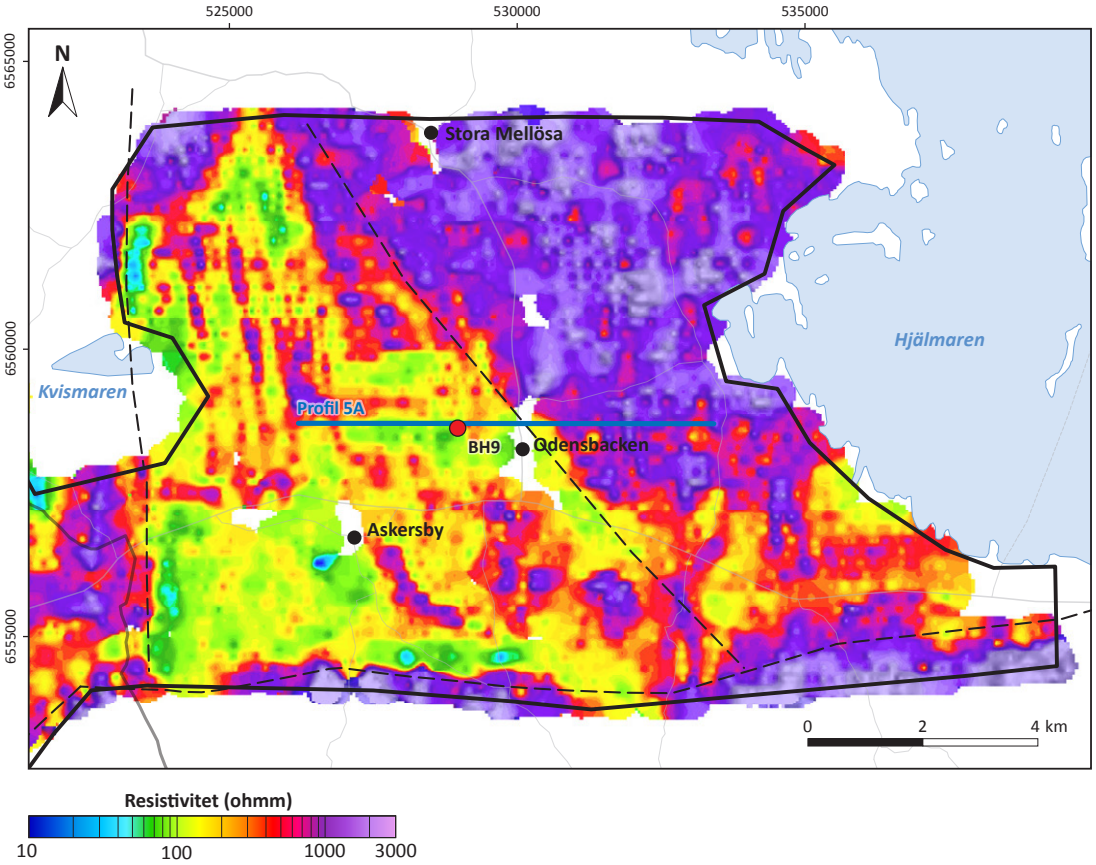
Figur 49 visar medelresistiviteten för nivån 0–10 meter över havsytans nivå. I den nordvästra delen av området förekommer utdragna högresistiva strukturer i nord–sydlig riktning vilket kan kopplas till drumliner och moränryggar (fig. 11). Vissa är täckta av lera och



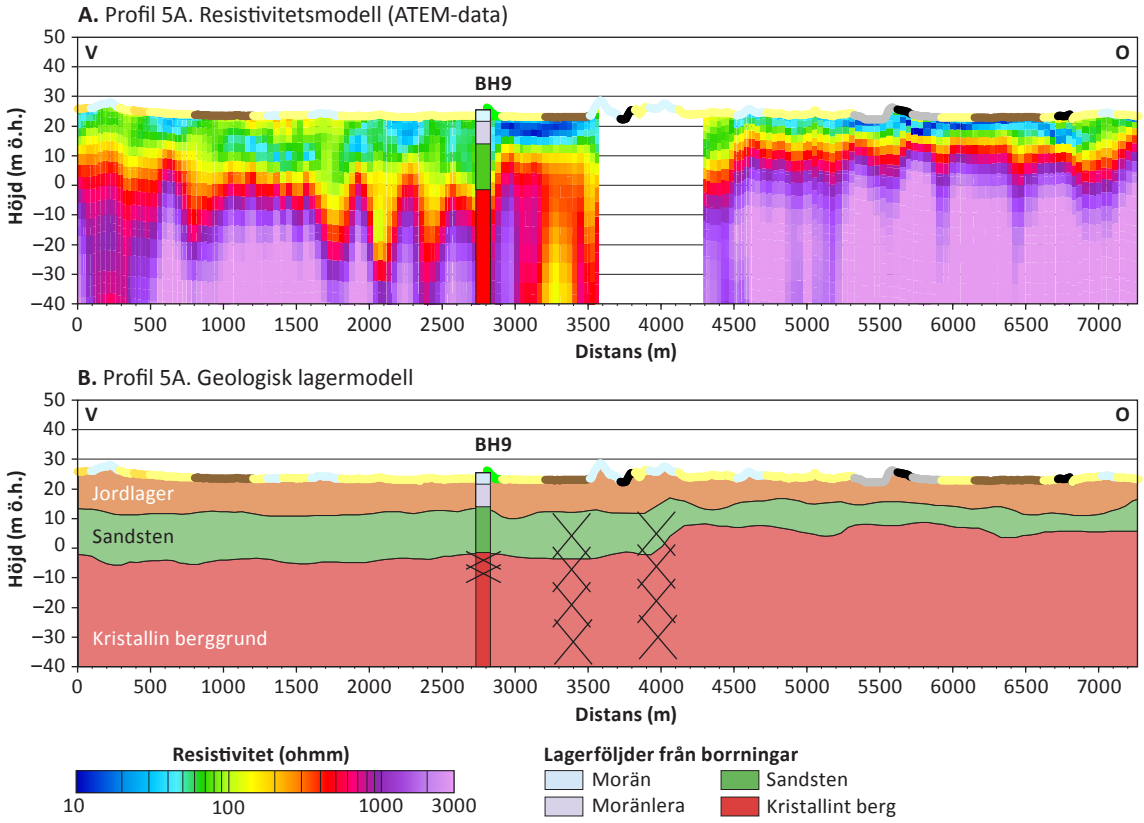
Figur 47. A. Profil 4D. Resistivitetsmodell och lagerföljd från borrning SB 8. **B.** Resistivitet som funktion av djupet vid läget för jordborrning SB 8.



Figur 48. Delområde 5. Röda punkter och linjer visar tillgängliga mätdata efter rensning. Kartan visar även läget för undersökningsborrning BH 9 (Valsta, bilaga 2) samt läget för profil 5A.



Figur 49. Delområde 5. Medelresistivitet i intervallet 0–10 m ö.h. och tolkade förkastningar och deformationszoner (streckade linjer). Kartan visar även läget för undersökningsborrning BH 9 (Valsta, bilaga 2) samt läget för profil 5A.

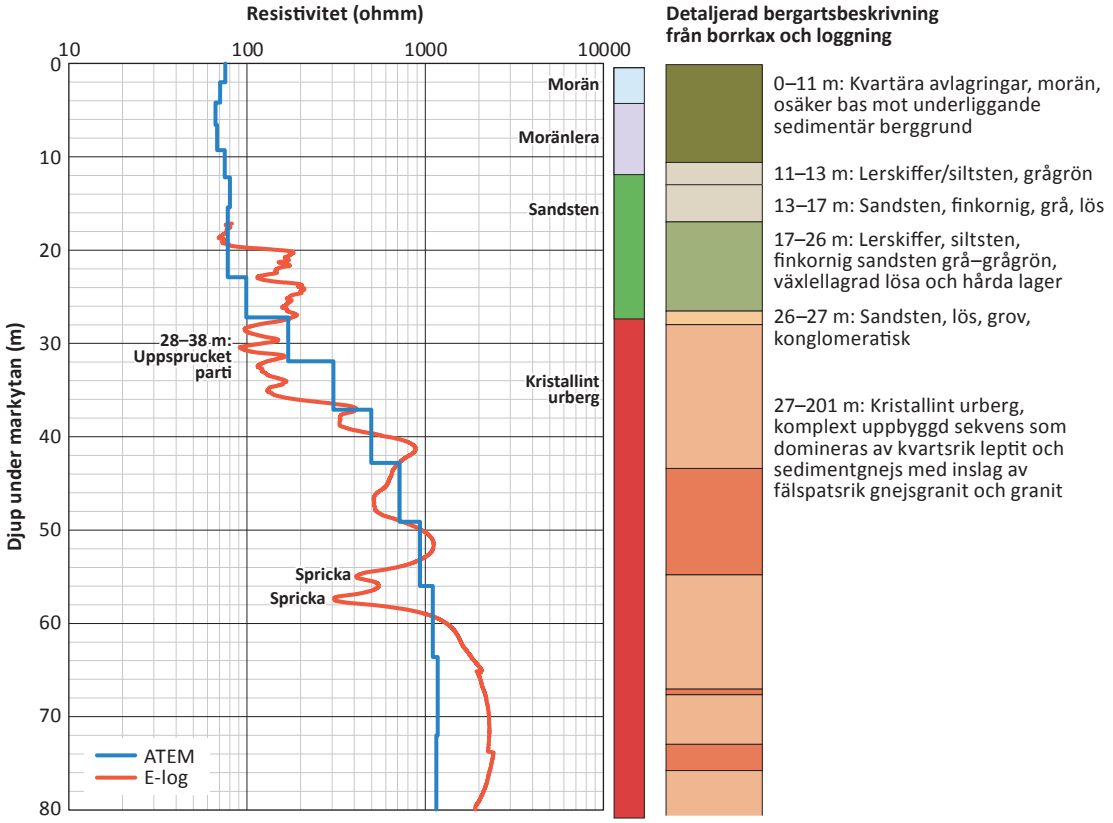


Figur 50. Profil 5A. **A.** Resistivitetsmodell. **B.** Geologisk lagermodell. Lagerföljd från undersökningsborrning BH 9. Profilens läge är markerad i figurerna 48 och 49.

därför inte kända sen tidigare. Förutom den öst–västliga förkastningen i söder går två andra deformationszoner genom området, en i väster med nord–sydlig riktning och en i den centrala delen av området med nordvästlig–sydostlig riktning. Båda är markerade på den äldre berggrundskartan men deras sträckning har modifierats något utifrån resistivitetsdata (fig. 49 och fig. 20). I figur 49 syns en tydlig skillnad i resistivitet på den östra respektive västra sidan av den centrala zonen vid Odensbacken. Den höga resistiviteten (>1000 ohmm) i den nordöstra delen av området visar att den kristallina urbergytan ligger på en högre nivå här, vilket indikerar att deformationszonen kan vara en förkastning.

Profil 5A visar en resistivitetsmodell och tolkad geologisk lagermodell längs en öst–västlig profil genom Odensbacken (fig. 50). Enbart utifrån ATEM-data är det svårt att bestämma det exakta läget på förkastningszonen. Data saknas dessutom över området vid Odensbacken. Den geologiska lagermodellen visar en skillnad på ca 10 m på nivån för den kristallina urbergsytan mellan den västra respektive den östra sidan av den möjliga förkastningen. Sandstenens mäktighet är ca 16 m på den västra sidan och endast ca 8 m på den östra sidan. Denna förändring illustreras även i figur 19 där sandstenen i den nordöstliga delen av området har en mäktighet på endast 5–10 m.

Längs profil 5A ligger även bergborrhål 9 (fig. 50) som borrades i östra kanten av Stora Mellösaåsen. Åsen är i området i stora delar överlagrad av lera och syns enbart lokalt i markytan vilket försvårar bedömningen av åsens utbredning under leran. Borrningen visade inte på något isälvsmaterial utan enbart morän till ett djup av 11 m följt av ca 16 m sandsten ovanpå kristallint berg. Hålet borrades ned till 200 m och här utfördes även en geofysisk borrhålsloggning. Tolkning av den geofysiska loggningen visar att de översta tio metrarna



Figur 51. BH 9 (Valsta, bilaga 2). Diagrammet till vänster visar resistivitet som funktion av djup uppmätt i borrhålet med mätsond med kontinuerlig registrering av borrhålsväggens resistivitet (E-log). På grund av foderrör saknas E-log-data i den översta delen av borrhålet. Som jämförelse visas modellerad resistivitet från ATEM-mätningen. Till höger visas en detaljerad geologisk tolkning av samtliga data från borrhålsloggningen ned till 80 m djup.

av den kristallina berggrunden är uppsprucken, vilket även indikeras av de relativt låga resistiviteterna i resistivitetsmodellen vid läget för BH 9 (fig. 50A). Figur 51 visar en jämförelse mellan resistivitet uppmätt med borrhålsloggning (E-log) och modellerad resistivitet från ATEM-data vid läget för borrhål 9. Metoderna visar jämförbar resistivitet från 20 m ned till 80 m djup trots stora skillnader i mätmetodik. Resistivitetsloggen visar låga resistiviteter (omkring 200 ohmm) i den övre delen av den kristallina berggrunden (28–38 m) vilket indikerar kraftigt uppsprucket och vattenförande berggrund.

Vattenmängden uppskattades till 3600 l/tim efter avslutad borrning. Uppgifter i Brunnsarkivet visar på relativt stora uttagsmängder i brunnar vid Odensbacken (21 brunnar med utaggskapacitet större än 10 000 l/tim). Grundvattenröret vid BH 9 ingår nu som en övervakningsstation i Grundvattennätet med stationsbenämningen Askersby_1.

SLUTSATSER OCH DISKUSSION

De helikopterburna TEM-mätningarna i Örebro har resulterat i en stor mängd resistivitetsdata samt inledande geologisk och hydrogeologisk tolkning av denna datamängd. Att utföra en fullständig och noggrann analys av alla insamlade data är emellertid tidskrävande, och i detta skede har det inte funnits möjlighet till det. Istället visar rapporten på ett antal övergripande geologiska tolkningar för undersökningsområdet som helhet samt specifika tolkningar inom ett antal delområden där mätningarna genererat ny kunskap om jordlager, berggrund och förutsättningar för grundvattenuttag.

Den insamlade informationen och tolkningarna finns nu tillgängliga vilket bidrar till ett förbättrat geologiskt och hydrogeologiskt underlag inom undersökningsområdet. Inom SGU kommer informationen att ligga till grund för fortsatt arbete med grundvattenkartering och uppdateringar av SGUs olika produkter såsom jorddjupsmodell och berggrundskarta. Resultaten görs även tillgängliga för externa intressenter, t.ex. konsulter, universitet och högskolor, för att möjliggöra fördjupade analyser av de geologiska och hydrogeologiska förhållandena inom undersökningsområdet.

Utöver den stora datamängden har mätningarna också gett värdefulla erfarenheter om mätmetodens användbarhet i olika geologiska miljöer.

ATEM-metodens möjligheter och begränsningar

ATEM är en effektiv metod för att samla in resistivitetsdata över stora områden. Metoden ger information om jord- och berglager med en detaljeringsgrad som få andra luftburna mätmetoder. Vissa geologiska förutsättningar måste dock vara uppfyllda för att metoden ska ge tillförlitliga och användbara resultat. I princip kräver TEM-mätningar att det finns ett lågresistivt lager av en tillräcklig mäktighet för att den inducerade strömmen ska kunna fortplanta sig genom jord och berg. Inom undersökningsområdet Örebro utgörs dessa lager av lågresistiva jordlager och sedimentär berggrund. I den sydvästra delen av området (delområde 3) med högresistiv kristallin berggrund och relativt tunna jordlager erhölls därför endast en begränsad mängd användbara data (fig. 36A).

För att kunna koppla de observerade resistivitetsvariationerna med olika geologiska enheter (tabell 4) krävs kunskap om mätmetoden och databearbetningen, men även geologisk och hydrogeologisk kunskap om områdets geologiska uppbyggnad i stort. Olika jord- och berglagers resistivitetsintervall överlappar ofta varandra, varför man sällan kan göra en direkt översättning från resistivitet till ett geologiskt material. Kompletterande information från borrningar är därför viktig för att kunna göra en säkrare tolkning från resistivitetsmodell till geologisk modell.

Geologisk och hydrogeologisk tolkning

ATEM-tekniken har visat sig väl lämpad för undersökningar av den lagrade sedimentära berggrunden på Närkeslätten. De olika lagren kan särskiljas på grund av deras olika resistiviteter som orsakas av variationer i lerhalt, porositet och vattenhalt. Metoden är speciellt bra på att identifiera lager med låg resistivitet varför den lågresistiva lerskiffern är lätt att identifiera i resistivitetsdata. Områden med kalksten i berggrundsytan kan även urskiljas på grund av sin karaktäristiska resistivitetssignatur och detsamma gäller områden med alunskiffer i berggrundsytan. I områden med kalksten är gränsen mellan kalksten och alunskiffer svårare att avgränsa och detsamma gäller gränsen mellan sandsten och urberg. Här är lagerföljdsinformation från borrningar till stor hjälp vid tolkningen. Sammantaget ger

mätningarna tillsammans med utförda kontrollborrningar en mycket god bild av den strukturella uppbyggnaden av berggrunden.

Berggrund

En detaljerad 3D-modell har skapats som visar den sedimentära berggrundens utbredning och mäktighet inom undersökningsområdet (se omslagsbild). Modellen är en lagermodell och består av sex lager: jordlager, kalksten, alunskiffer, lerskiffer, sandsten och urberg.

Modellen ger en värdefull konceptuell förståelse avseende berggrundens lagerstrukturer och mäktigheter inom hela Närkeslätten. Denna kunskap kan användas inom en mängd sammanhang såsom bedömningsunderlag vid entreprenadverksamheter, undermarksplanering, brunnsborrning och vattenskydd. Ett särskilt område där 3D-modellen kan ge stöd är vid beräkning av grundvattenflöden genom såväl analytiska beräkningar som vid numeriska modelleringar av grundvattenflöden. Frågeställningar som kan lösas genom sådana beräkningsrutiner är bland annat bedömning av vattenbalanser, transporttider, uttagsmöjligheter och påverkansområden.

I den nu framtagna modellen är avgränsningen av sandstenens utbredning och mäktighet (fig. 19) av särskilt intresse eftersom sandstenen har en stor betydelse för grundvattentillgången i området. Förutom en säkrare bedömningen av sandstenskroppens geometri ger modellen också en säkrare tolkning av vilka delar av sandstenen som överlagras av andra sedimentära bergarter.

Den yttäckande kunskapen om sandstenens mäktighet har kunnat användas för statistiska jämförelser vilka visat att områden med mäktigare sandstenslager kan korreleras till områden (borrningar) med högre hydraulisk konduktivitet, något som stärker den sedan tidigare utförda bedömningen av sandstenens värde för vattenförsörjningen.

En annan värdefull geologisk kunskap, som synliggörs genom 3D-modellen, är områden där den sedimentära berggrunden utsatts för glacial erosion. Ett exempel på detta är i sträckningen för Hardemoåsen, där sandstenen sannolikt eroderats bort genom den isälv som avsatte åsen (fig. 31).

Resistivitetsdata har också använts för att göra en omtolkning av områdets förkastningar och deformationszoner. En tidigare okänd förkastning har identifierats vid Hardemo (fig. 32 och fig. 20) och en av de tidigare kända förkastningarna har fått en annorlunda sträckning (fig. 40 och fig. 20). Förkastningar är intressanta ur ett grundvattenperspektiv då berget ofta är mer vattenförande i dessa zoner. Uppgifter från Brunnsarkivet visar även på relativt höga kapaciteter i anslutning till de större förkastningszonerna, speciellt den södra zonen.

De resultat och tolkningar som presenteras här kommer att leda till förändringar i SGUs databaser. Med stöd av resultaten från nu utförda undersökningar kommer det att göras en översyn av geometrin för de grundvattenmagasin som finns inom området. De förändrade magasingeometrierna kommer i sin tur att leda till justeringsförslag avseende områdets grundvattenförekomster.

De nya resultaten innebär vidare att SGUs berggrundsgeologiska databas kommer att uppdateras med den nya information som kommit fram.

Jordlager

En ny modell över jordlagrens mäktighet har tagits fram över området (fig. 18) vilket väsentligt förbättrat SGUs jorddjupsmodell. Det gäller speciellt i områden med få borrningar.

Jordlagren inom området har generellt lägre resistivitet än berggrunden, förutom i områden där berggrundsytan utgörs av lerskiffer där förhållandet blir det omvända.

Isälvsavlagringar kan ofta avgränsas i resistivitetsdata på grund av sin högre resistivitet än omgivande lera. I områden där avlagringarna har en större mäktighet är det oftast möjligt att skilja ut torrare lager på ytan från mer vattenmättade lager på djupet (till exempel längs Askersundsåsen, fig. 35). I områden där isälvsavlagringen är smal (<50 m bred) är de svårare att identifiera. Åsarna ligger dessutom inte sällan längs vägar vilket innebär att data i vissa fall rensats bort här.

Resultaten från mätningarna i anslutning till Askersundsåsen har gett värdefull information om den sedan tidigare enbart regionalkarterade åssträckningen. Dessa data kan i kombination med kompletterande markgeofysik samt ytterligare borrningar användas för att förbättra avgränsningen av det grundvattenmagasin som idag finns definierat i SGUs databas.

Områden med gyttjelera har mycket låg resistivitet (ofta mindre än 10 ohmm) och kan därför skiljas ut från andra leror (fig. 47). Den låga resistiviteten beror sannolikt på att gyttjeleran avsattes i bräckt vatten och därför har en högre kloridhalt. Analys som utfördes på ett prov med gyttjelera vid Kvismaren visar på förekomst av sulfidhaltiga sediment vilket vid dränering kan skapa sura förhållanden.

REFERENSER

Akva Terra, 1998: Säbylunds Egendom, Säbylund, Grundvattenundersökning. Uppdragsnummer 071/98. 1998-05-19. Referensnummer i SGUs register för grundvattenutredningar: 8118. 10 s.

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.

Becher, M., Sohlenius, G. & Öhrling, C., 2019: Sur sulfatjord – egenskaper och utbredning. *SGU-rapport 2019:13*, Sveriges geologiska undersökning, 37 s.

Carlsson, A. & Christiansson, R., 1987: Geology and tectonics at Forsmark, Sweden. *Vattenfall FUD-rapport*, 97 s.

Carlsson, A. & Olsson, T., 1982: High rock stresses as a consequence of glaciation. *Nature 298*, 739–742. https://doi.org/10.1038/298739a0.

Daniels, J. & Thunholm, B., 2014: Rikstäckande jorddjupsmodell. *SGU-rapport 2014:14,* Sveriges geologiska undersökning, 14 s.

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.

Dahlqvist, P., Bastani, M., Persson, L., Triumf, C.-A., Erlström, M., Gustafsson, M, Jörgensen, F., Gulbrandsen, M. & Malmberg Persson, K., 2018: SkyTEM-undersökningar på Öland. *Rapporter och meddelanden 145,* Sveriges geologiska undersökning, 100 s.

Dahlqvist, P., Brolin, C., Hellstrand, E., Erlström, M., Gustafsson, M., Malmberg Persson, K., Engdahl, M., Lång, L-O. & Andersson, J., 2019: SkyTEM-undersökningar i Halland. *Rapporter och meddelanden 147,* Sveriges geologiska undersökning, 124 s.

Dahlqvist, P., Henriksson, O., Pile, O., Lång, L_O., Lindh, Å., Gustafsson, M., Leroux, V. & Andersson, J., 2020a: Helikopterburna TEM-mätningar vid Vätterns nordvästra strand – Geologiska tolkningar och hydrogeologisk tillämpning. *SGU-rapport 2020:24,* Sveriges geologiska undersökning, 71 s.

Dahlqvist, P., Henriksson, O., Ising, J., Erlström, M. & Gustafsson, M., 2020b: Helikopterburna TEM-mätningar över Östgötaslätten – Geologiska tolkningar och hydrogeologisk tillämpning. *SGU-rapport 2020:33*, Sveriges geologiska undersökning, 105 s.

Ericsson, B., 1979: Beskrivning till jordartskartan Karlskoga SO. *Sveriges geologiska undersökning Ae 37*, 109 s.

Fromm, E., 1972: Beskrivning till geologiska kartbladet Örebro SV. *Sveriges geologiska undersökning Ae 5,* 100 s.

Gustafsson, G., 2009: Hydrogeologi för bergbyggare. Forskningsrådet Formas. ISBN: 9789154060290, 167 s.

Karlsson, L.E., 2014: The water courses in Kvarntorp – An evaluation of water chemistry from monitoring data 1994-2012. Örebro University, Department of Science and Technology Environmental Science, Advanced Level, 30 ECTS, 63 s. http://oru.diva-portal.org/smash/get/diva2:744313/FULLTEXT02.pdf

Knutson, G. & Morfeldt, C.-O., 2002: *Grundvatten, Teori & tillämpning.* AB Svensk Byggtjänst, Stockholm, 227 s.

Lennqvist, J., 2007: Våtmarkshistoria: *Hjälmarens och Kvismarens stränder under 1800-och 1900-talen*. Örebro universitetsbibliotek, 313 s.
Lindskog, A. Lindskog, A.M., Johansson, J.V., Ahlberg, P. & Eriksson, M., 2018: The Cambrian-Ordovician succession at Lanna, Sweden: Stratigraphy and depositional environments. *Estonian Journal of Earth Sciences 67*, 133–148.
Livsmedelsverket, 2015: Råd om enskild dricksvattenförsörjning. https://www.livsmedelsverket.se/globalassets/livsmedel-innehall/mat-dryck/dricksvatten/egen-brunn/rad-om-egen-brunn/rad-om-enskild-dricksvattenforsorjning.pdf.
Lundegård, P.H. & Fromm, E., 1971: Beskrivning till berggrundsgeologiska kartbladet Örebro SV. *Sveriges geologiska undersökning Af 101*, 72 s.
Lundegård, P.H., Hübner, H., Wikman, H., Karis, L. & Magnusson E., 1972: Beskrivning till berggrundsgeologiska kartbladet Örebro NV. *Sveriges geologiska undersökning Af 102*, 216 s.
Lundegård, P.H., Karis, L. & Magnusson E., 1973: Beskrivning till berggrundsgeologiska kartbladet Örebro SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 104*, 77 s.
Länsstyrelsen, 2020: VISS, Vatteninformationssystem Sverige, Länsstyrelsen. <viss.lansstyrelsen.se> åtkommen den 1 september 2020.
Magnusson, E., 1970: Beskrivning till geologiska kartbladet Örebro NV. *Sveriges geologiska undersökning Ae 6*, 103 s.
Magnusson, E. & Lundegårdh, P.-H., 1972: Beskrivning till geologiska kartbladet Örebro SO. *Sveriges geologiska undersökning Ae 8*, 96 s.
Müllern, C.-F., 2009: Beskrivning till kartan Grundvattenförekomster i Örebro och Kumla samt delar av angränsande kommuner. *Sveriges geologiska undersökning K 140*, 97 s.
Möller, Å., Engqvist, P., Müllern, C.-F. & Bengtsson, P., 1971a: Hydrogeologiska kartbladet Örebro SV. *Sveriges geologiska undersökning Ag 1.*
Möller, Å., Engqvist, P. & Müllern, C.-F. & Bengtson, P., 1971b: Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet Örebro SV. *Sveriges geologiska undersökning Ag 1*, 86 s.
Möller, Å., Engqvist, P. & Müllern, C.-F., 1971c: Hydrogeologiska kartbladet Örebro NV. *Sveriges geologiska undersökning Ag 3.*
Möller, Å., Engqvist, P. & Müllern, C.F., 1971d: Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet Örebro NV. *Sveriges geologiska undersökning Ag 3*, 77 s.
Möller, Å., Engqvist, P. & Müllern, C.-F., 1974a: Hydrogeologiska kartbladet Örebro SO. *Sveriges geologiska undersökning Ag 5.*
Möller, Å., Engqvist, P. & Müllern, C.-F. 1974b: Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet Örebro SO. *Sveriges geologiska undersökning Ag 5*, 67 s.
Möller, Å., Engqvist, P. & Müllern, C.F., 1976: Hydrogeologiska förhållanden inom Närkeslättens sedimentära berggrund med fyra planscher. *Sveriges geologiska undersökning C 721*, 64 s.
Pousette, J., Müllern, C.-F., Rurling, S. & Thunholm, B., 2000: Beskrivning till kartan över grundvattnet i Örebro län. *Sveriges geologiska undersökning Ah 20*, 57 s.
Påsse, T. & Daniels. J., 2015: Past shore-level and sea-level displacements. *Rapporter och meddelanden 137,* Sveriges geologiska undersökning, 40 s.
SGU, 2020a: Grundvattenövervakning, nivådata – databas. Hallsberg. 2020-11-06.
SGU, 2020b: Vattentäktsarkivet – databas. Örebro län, 2020-05-20.
SGU, 2020c: Brunnsarkivet – databas.
SGU, 2020d: Databas grundvattenmagasin.
SkyTEM, 2018: SkyTEM Survey: Östergötland and Örebro, Sweden. Data report, SkyTEM Surveys Aps, Denmark, dnr: 312-1408/2020, 44 s.

Sohlenius, G. Persson, L. & Bastani, M., 2007: Geofysiska metoder för att identifiera områden med sulfidhaltiga sediment. *SGU-rapport 2007:31*, Sveriges geologiska undersökning, 44 s.

Sohlenius, G., Bastani, M., Persson, Lena & Lax, K., 2008: On the recognition of areas with problematic sulphidic sediments using multi-disciplinary data. *Environmental Geology 56*, 973–984.

Stephens, M.B. & Jansson, N.F., 2020: Paleoproterozoic (1,9–1,8 Ga) syn-orogenic magmatism, sedimentation and mineralization in the Bergslagen lithotectonic unit, Svecokarelian orogeny. *I* M.B. Stephens & J. Bergman Weihed J.: Sweden: Lithotectonic Framework, Tectonic evolution and mineral resources. *Geological Society of London, Memoirs 50*, 155–206.

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

Tirén, S.A., 1993: Planning of infrastructures and the role of remote analysis of structural elements in the bedrock. *GFF 115*, 275–277.

VIAK, 1972: Örebro kommun, Redogörelse för grundvattenundersökningar i Fjugesta juni 1970-juni 1971 samt förslag till skyddsplan för grundvattentäkt. Uppdragsnummer 82.4920. Stockholm den 11 januari 1972. Referensnummer i SGUs register för grundvattenutredningar: 6413. 19 s.

Wahlgren, C.-H., Mellqvist, C., Bovin, K., Jelinek, C., Persson, L., Thunholm, B. & Wåhlén, H., 2015: grundvatten i kristallin berggrund, en pilotstudie baserad på SGUs data. *SGU-rapport 2015:31*, Sveriges geologiska undersökning, 72 s.

Westergård A.H., 1940: Nya djupborrningar genom äldsta Ordovicium och Kambrium i Östergötland och Närke. *Sveriges geologiska undersökning C 437*, 72 s.

Wikström, A. & Karis, L., 1991: Beskrivning till berggrundskarta 9F Finspång NV. *Sveriges geologiska undersökning Af 164*, 218 s.

Wikström, A. & Karis, L., 1997: Beskrivning till berggrundskarta 10E Karlskoga SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 183*, 113 s.

Örebro kommun, 2017: Tekniskt underlag vattenskyddsområde Svartån. 2017-02-27. <https://www.orebro.se/download/18.17bd677b15a180b3e7e4dda/1488446778272/ARB Tekniskt+underlag+Svart%C3%A5n-170227.pdf>.

Örebro kommun, 2019: Vattenplan för Örebro. 139/2017, 35 s. <https://www.orebro.se/download/18.1d8f9a39155628f738416963/1571814309564/Vattenplan.pdf>.

BILAGA 1. LAGERFÖLJDER FRÅN UTFÖRDA BORRNINGAR

BH 1
Id: Egersta
N 6 575 137, E 498 494

0–3 m	morän
3–17 m	moränlera
17–41 m	kalksten
41–55 m	alunskiffer
55–72 m	lerskiffer
72–91 m	sandsten
91–201 m	kristallint urberg

BH 2
Id: Gräve
N 6 572 481, E 505 080

0–1 m	silt
1–3 m	sand
3–6 m	morän
6–22 m	moränlera
22–29 m	sandsten
29–64 m	kristallint urberg

BH 3
Id: Luggavi
N 6 557 384, E 498 822

0–12 m	sand
12–14 m	grus
14–17 m	morän
17–31 m	kristallint urberg

BH 4
Id: Glippsta
N 6 551 593, E 497 975

0–15 m	moränlera
15–28 m	lerskiffer
28–44 m	sandsten
44–60 m	kristallint urberg

BH 5
Id: Bostället
N 6 550 065, E 497 719

0–4 m	morän
4–31 m	moränlera
31–47 m	sandsten
47–55 m	kristallint urberg

BH 6
Id: Vallersta
N 6 556 695, E 503 242

0–5 m	morän
5–18,5 m	sandsten
18,5–115 m	kristallint urberg

BH 7
Id: Säbylund
N 6 557 330, E 508 262

0–1 m	sand
1–2 m	grusig sand
2–3 m	silt
3–4 m	lerig silt
4–6 m	siltig lera
6–9 m	finsand
9–10 m	sandigt grus
10–13 m	lerigt sandigt grus
13–14 m	grusig sand
14–21 m	sand
21–22 m	morän
22–26 m	sandsten
26–46 m	kristallint urberg

BH 8
Id: Ekeby
N 6 557 462, E 514 032

0–7 m	morän
7–14 m	sandsten
14–31 m	kristallint urberg

BH 9
Id: Valsta
N 6 558 630, E 529 012

0–11,5 m	morän
11,5–27 m	sandsten
27–201 m	kristallint urberg

SB1
Id: BMW196544
N 6 579 032, E 501 614

0–3,6 m	lera
3,6–4 m	finsilt
4–4,5 m	lera
4,5–10,1 m	morän

SB2
Id: BMW196543
N 6 570 813, E 507 951

0–0,8 m	sand
0,8–1,5 m	mellansand
1,5–1,9 m	finsand
1,9–2,1 m	silt
2,1–2,6 m	finsand
2,6–4,5 m	lera
4,5–5 m	finsilt
5–6 m	grovsilt–finsand
6–7 m	finsand
7–8 m	siltig sandig morän
8–9 m	moränlera

SB3
Id: BMW196545
N 6 565 666, E 496 174

0–0,5 m	ospec.
0,5–0,8 m	lera
0,8–1,2 m	finsand
1,2–1,9 m	lera
1,9–2 m	finsand
2–3 m	grovsilt–finsand
3–7 m	ospec.

SB4
Id: BMW196548
N 6 560 732, E 491 019

0–2 m	silt
2–4 m	sand
4–6 m	finsand
6–9 m	sand
9–14 m	ospec.

SB5
Id: BMW196546
N 6 552 801, E 491 499

0–3 m	morän

SB6
Id: BMW196547
N 6 548 568, E 498 729

0–1 m	grus
1–2 m	silt
2–5 m	morän

SB7
Id: BMW196542
N 6 540 682, E 493 845

0–0,5 m	ospec.
0,5–23,4 m	sand

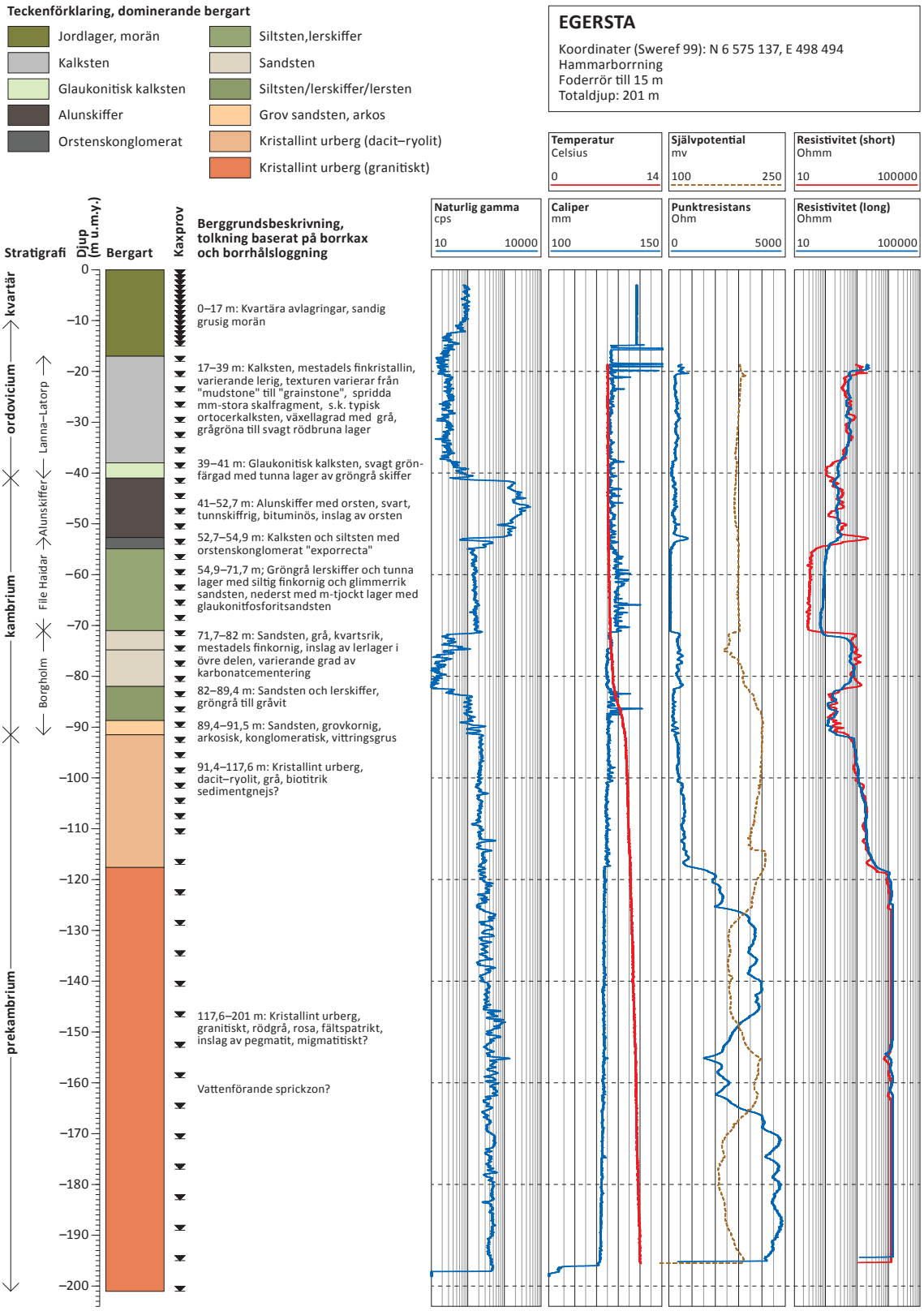
SB8
Id: BMW196540
N 6 559 302, E 520 019

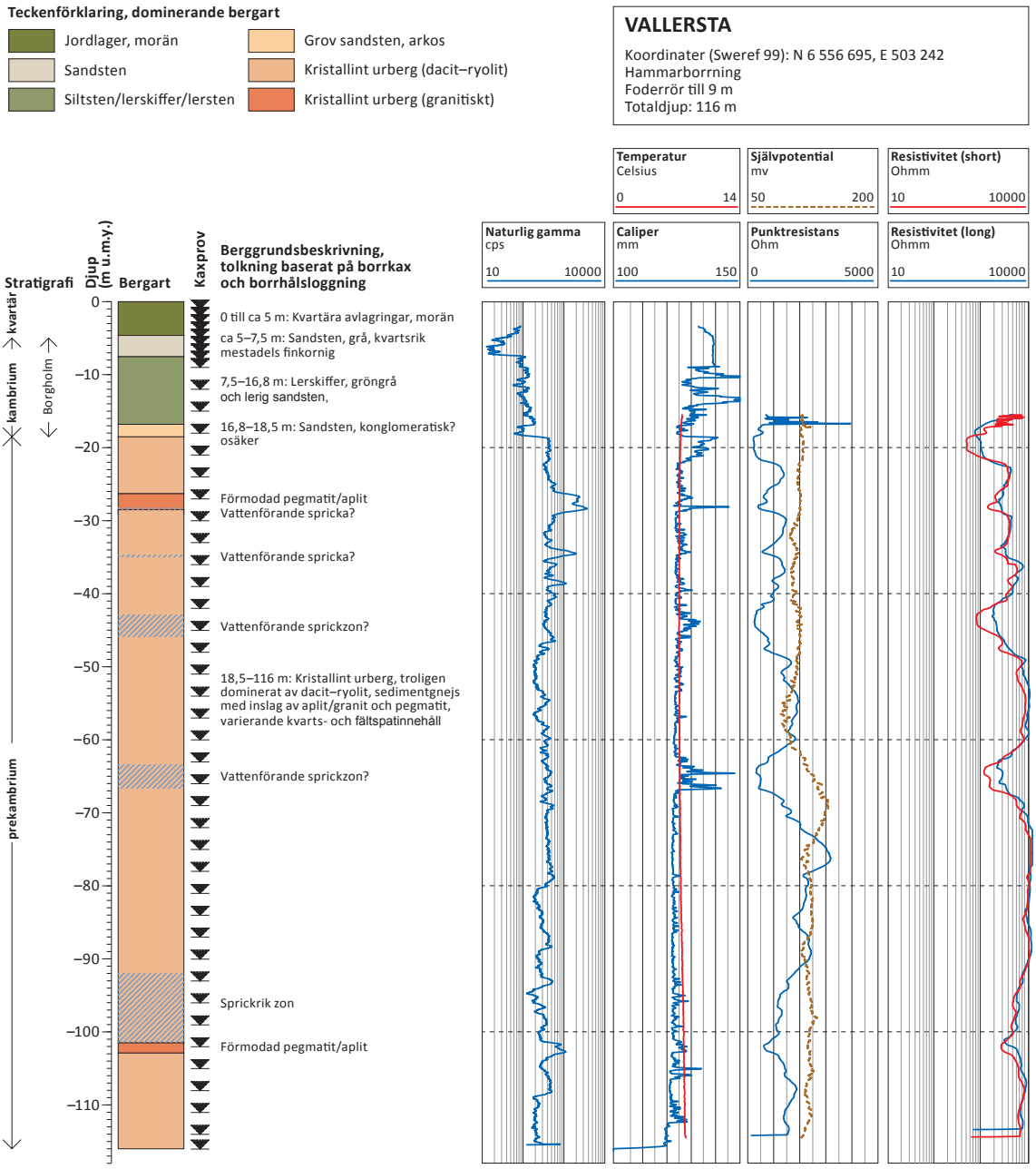
0–0,3 m	ospec.
0,3–8 m	lera
8–14 m	lera–silt

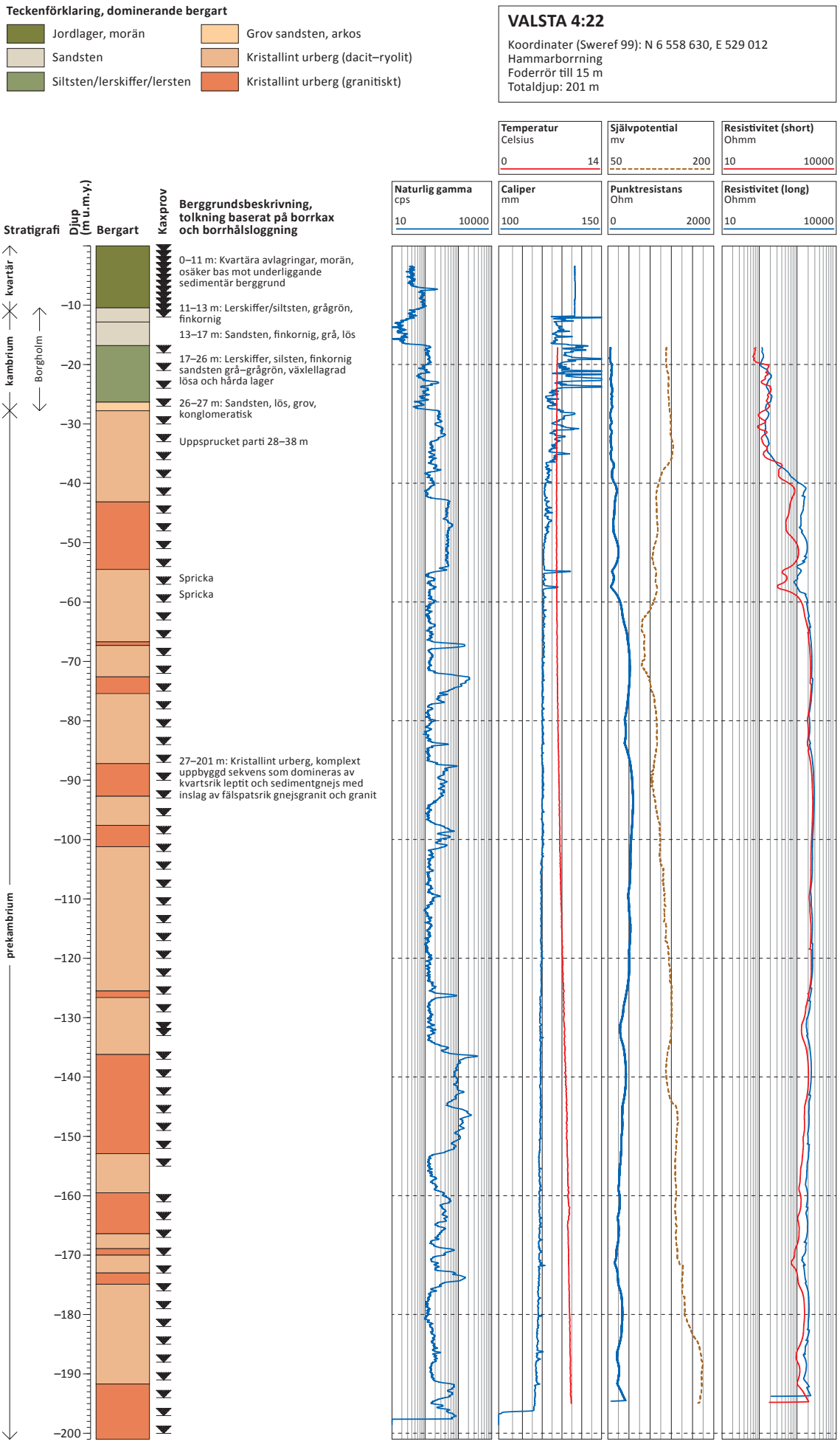
SB9
Id: BMW196541
N 6 557 426, E 521 333

0–3 m	sand
3–22 m	grus

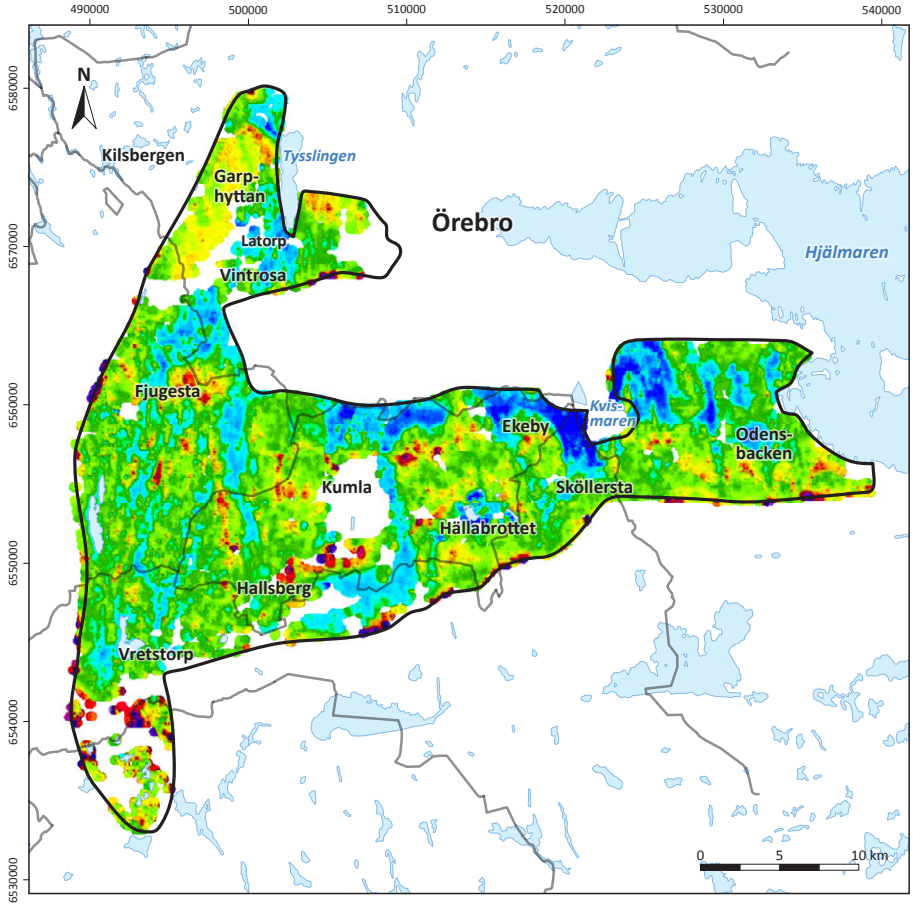
BILAGA 2. GEOFYSISK BORRHÅLSLOGGNING




Teckenförklaring, dominerande bergart
Jordlager, morän
Sandsten
Siltsten/lerskiffer/lersten
Grov sandsten, arkos
Kristallint urberg (dacit–ryolit)
Kristallint urberg (granitiskt)
VALLERSTA
Koordinater (Sweref 99): N 6 556 695, E 503 242
Hammarborrning
Foderrör till 9 m
Totaldjup: 116 m
Temperatur
Celsius
0
14
Självpotential
mv
50
200
Resistivitet (short)
Ohmm
10
10000
Naturlig gamma
cps
10
10000
Caliper
mm
100
150
Punktresistans
Ohm
0
5000
Resistivitet (long)
Ohmm
10
10000
Stratigrafi
Djup (m u.m.y.)
Bergart
Kaxprov
Berggrundsbeskrivning, tolkning baserat på borrkax och borrhålsloggning
kvartär
kambrium
Borgholm
prekambrium
0
–10
–20
–30
–40
–50
–60
–70
–80
–90
–100
–110
0 till ca 5 m: Kvartära avlagringar, morän
ca 5–7,5 m: Sandsten, grå, kvartsrik mestadels finkornig
7,5–16,8 m: Lerskiffer, gröngrå och lerig sandsten,
16,8–18,5 m: Sandsten, konglomeratisk? osäker
Förmodad pegmatit/aplit
Vattenförande spricka?
Vattenförande spricka?
Vattenförande sprickzon?
18,5–116 m: Kristallint urberg, troligen dominerat av dacit–ryolit, sedimentgnejs med inslag av aplit/granit och pegmatit, varierande kvarts- och fältspatinnehåll
Vattenförande sprickzon?
Sprickrik zon
Förmodad pegmatit/aplit


Teckenförklaring, dominerande bergart
Jordlager, morän
Sandsten
Siltsten/lerskiffer/lersten
Grov sandsten, arkos
Kristallint urberg (dacit–ryolit)
Kristallint urberg (granitiskt)
VALSTA 4:22
Koordinater (Sweref 99): N 6 558 630, E 529 012
Hammarborrning
Foderrör till 15 m
Totaldjup: 201 m
Temperatur
Celsius
0 14
Självpotential
mv
50 200
Resistivitet (short)
Ohmm
10 10000
Naturlig gamma
cps
10 10000
Caliper
mm
100 150
Punktresistans
Ohm
0 2000
Resistivitet (long)
Ohmm
10 10000
Stratigrafi
Djup (m u.m.y.)
Bergart
Kaxprov
Berggrundsbeskrivning, tolkning baserat på borrkax och borrhålsloggning
kvartär
kambrium
Borgholm
prekambrium
0–11 m: Kvartära avlagringar, morän, osäker bas mot underliggande sedimentär berggrund
11–13 m: Lerskiffer/siltsten, grågrön, finkornig
13–17 m: Sandsten, finkornig, grå, lös
17–26 m: Lerskiffer, silsten, finkornig sandsten grå–grågrön, växlellagrad lösa och hårda lager
26–27 m: Sandsten, lös, grov, konglomeratisk
Uppsprucket parti 28–38 m
Spricka
Spricka
27–201 m: Kristallint urberg, komplext uppbyggd sekvens som domineras av kvartsrik leptit och sedimentgnejs med inslag av fälspatsrik gnejsgranit och granit
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
-110
-120
-130
-140
-150
-160
-170
-180
-190
-200

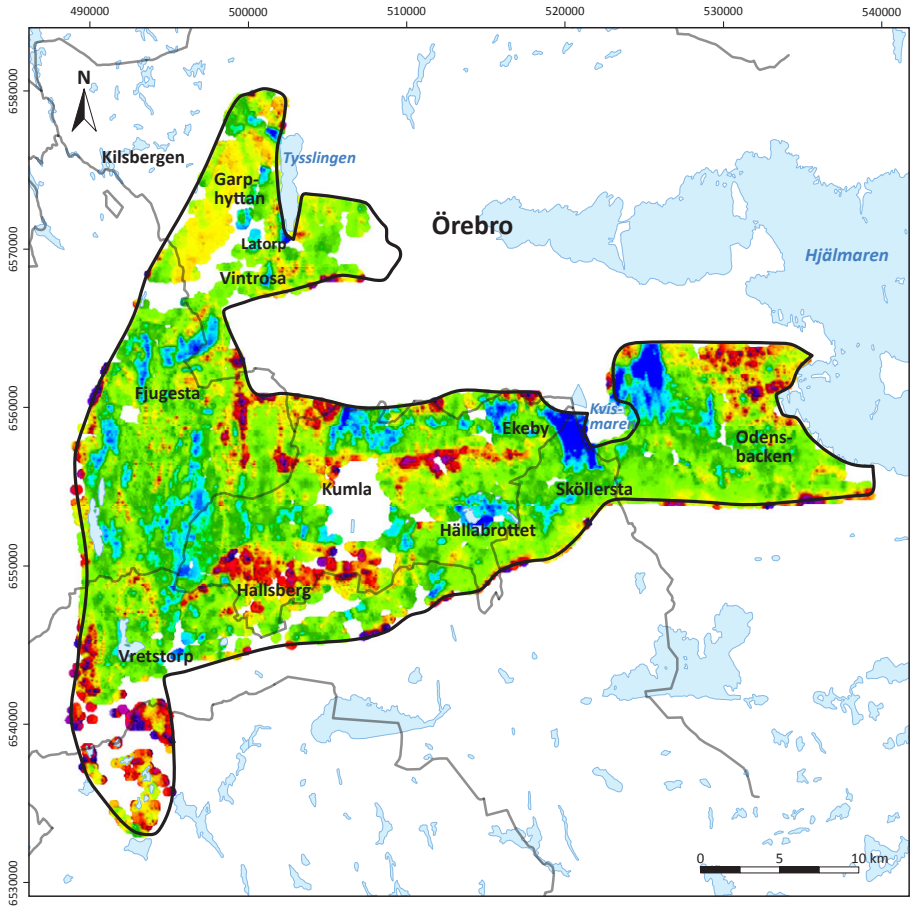
BILAGA 3. MEDELRESISTIVITET FÖR VALDA DJUP- OCH HÖJDINTERVALL



Medelresistivitet på djup 0 till 5 m under markytan

Resistivitet (ohmm)

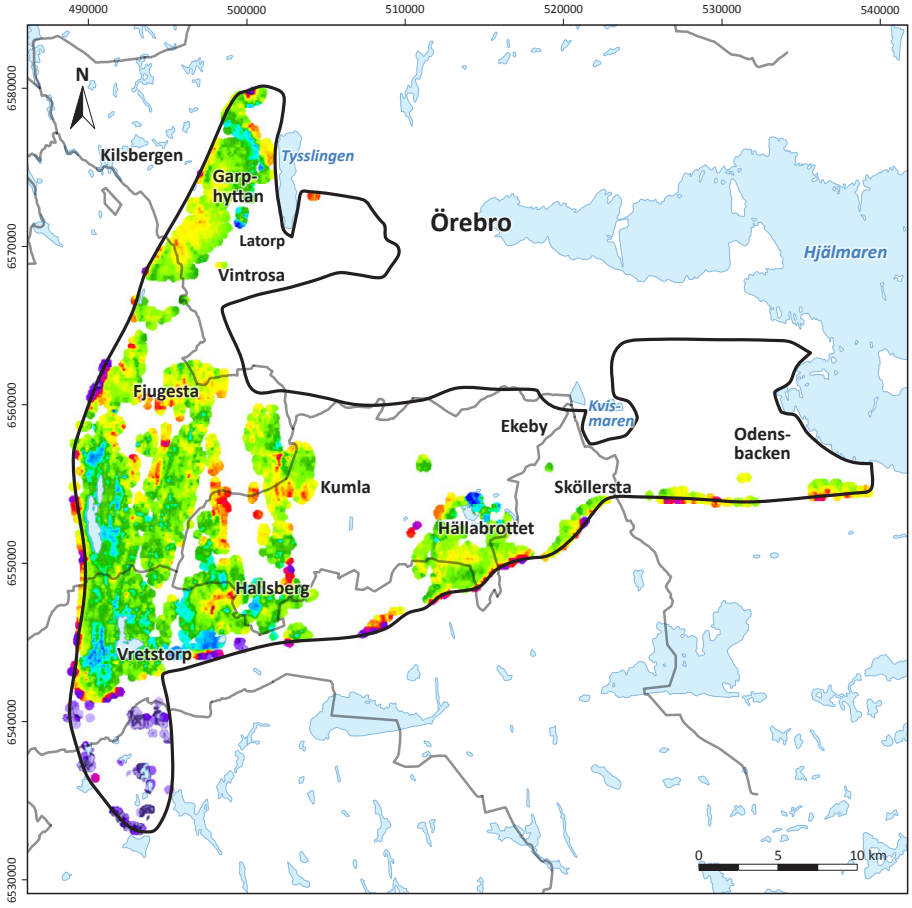
3000
1000
100
10



Medelresistivitet på djup 5 till 10 m under markytan

Resistivitet (ohmm)

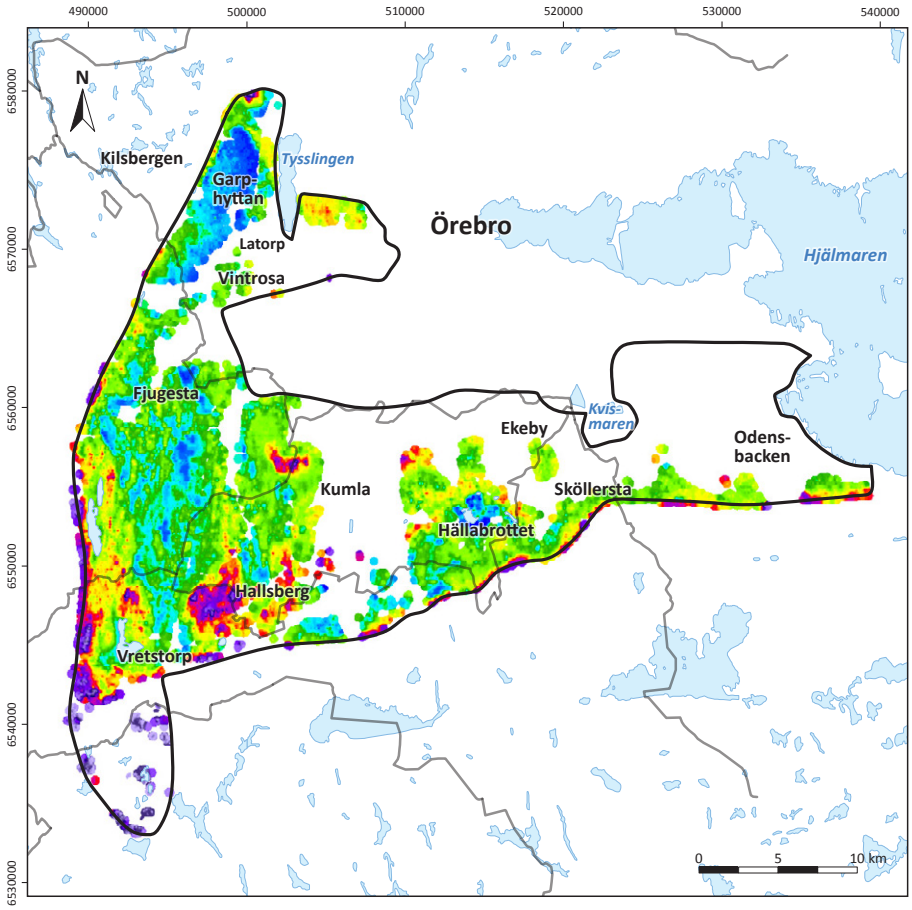
3000
1000
100
10



Medelresistivitet i intervallet 60 till 70 m ö.h.

Resistivitet (ohmm)

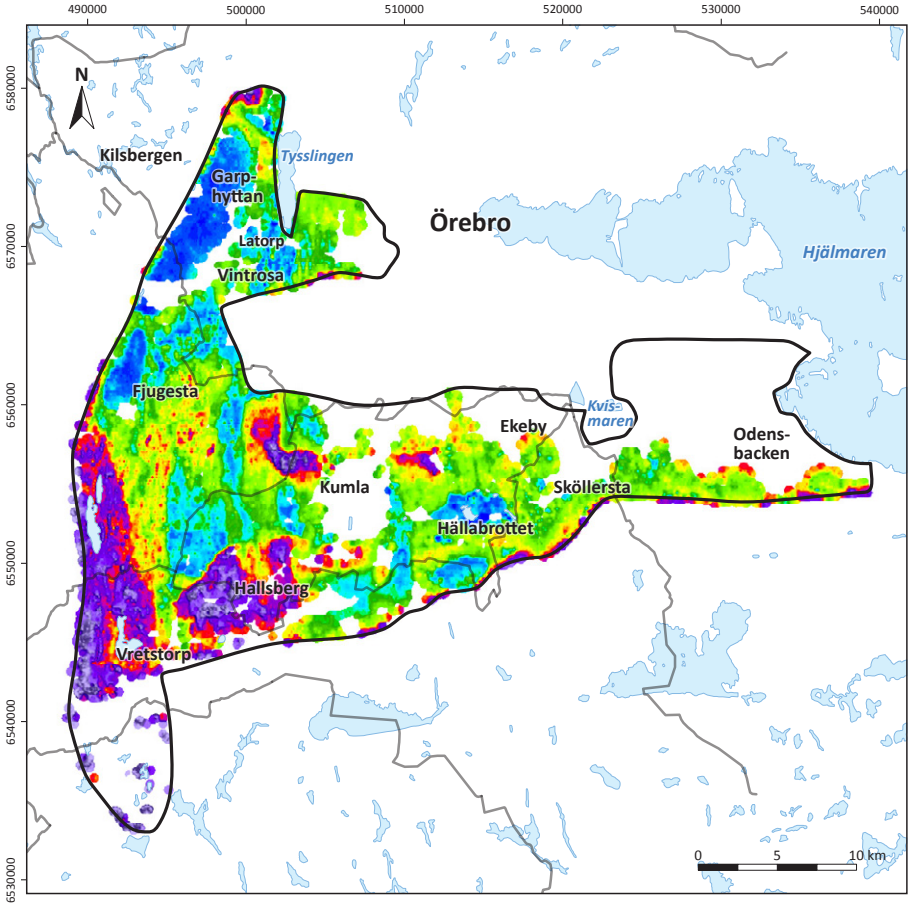
3000
1000
100
10



Medelresistivitet i intervallet 50 till 60 m ö.h.

Resistivitet (ohmm)

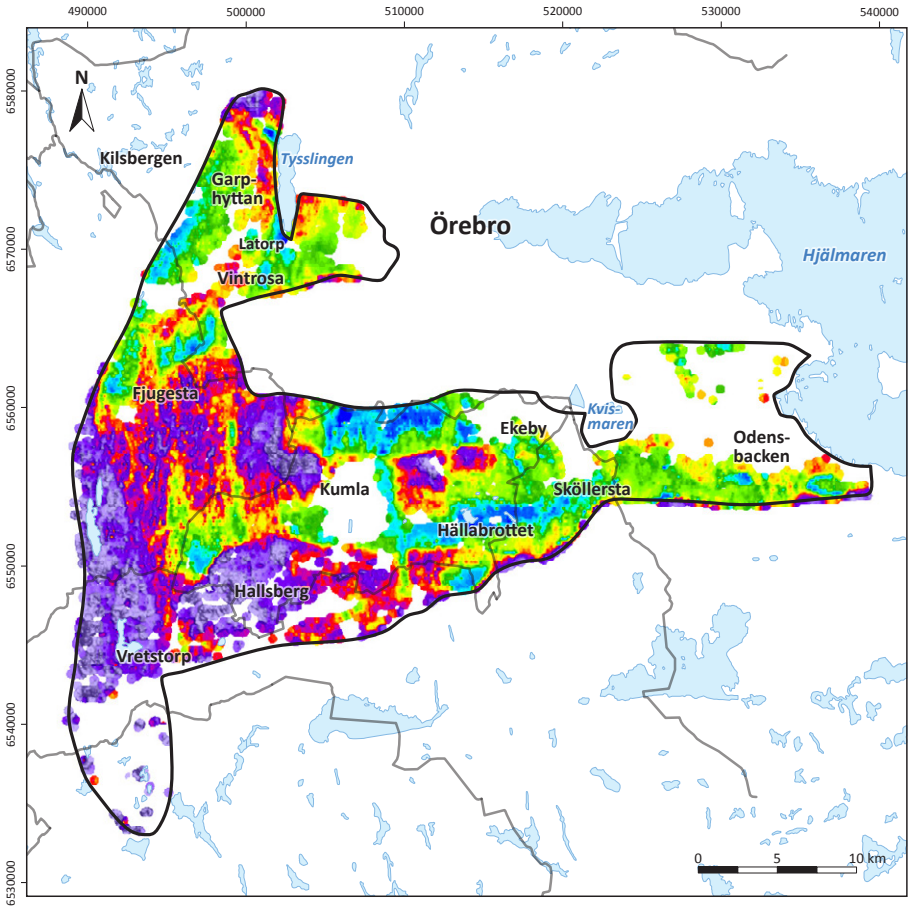
3000
1000
100
10



Medelresistivitet i intervallet 40 till 50 m ö.h.

Resistivitet (ohmm)

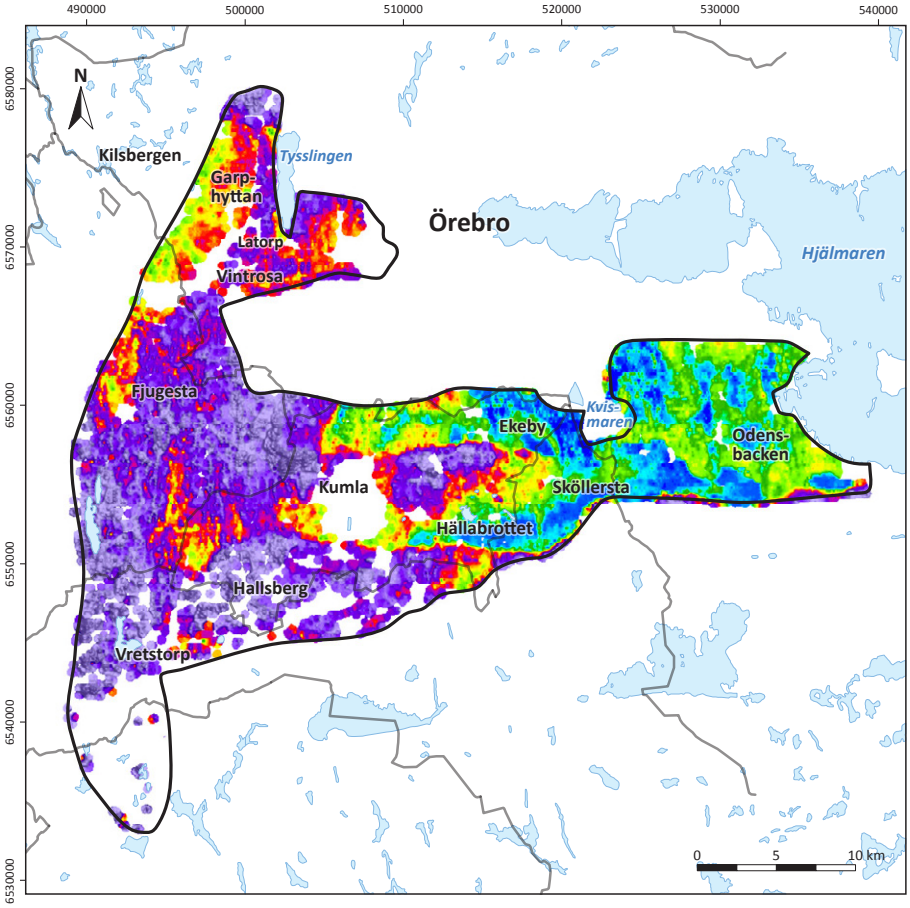
3000
1000
100
10



Medelresistivitet i intervallet 30 till 40 m ö.h.

Resistivitet (ohmm)

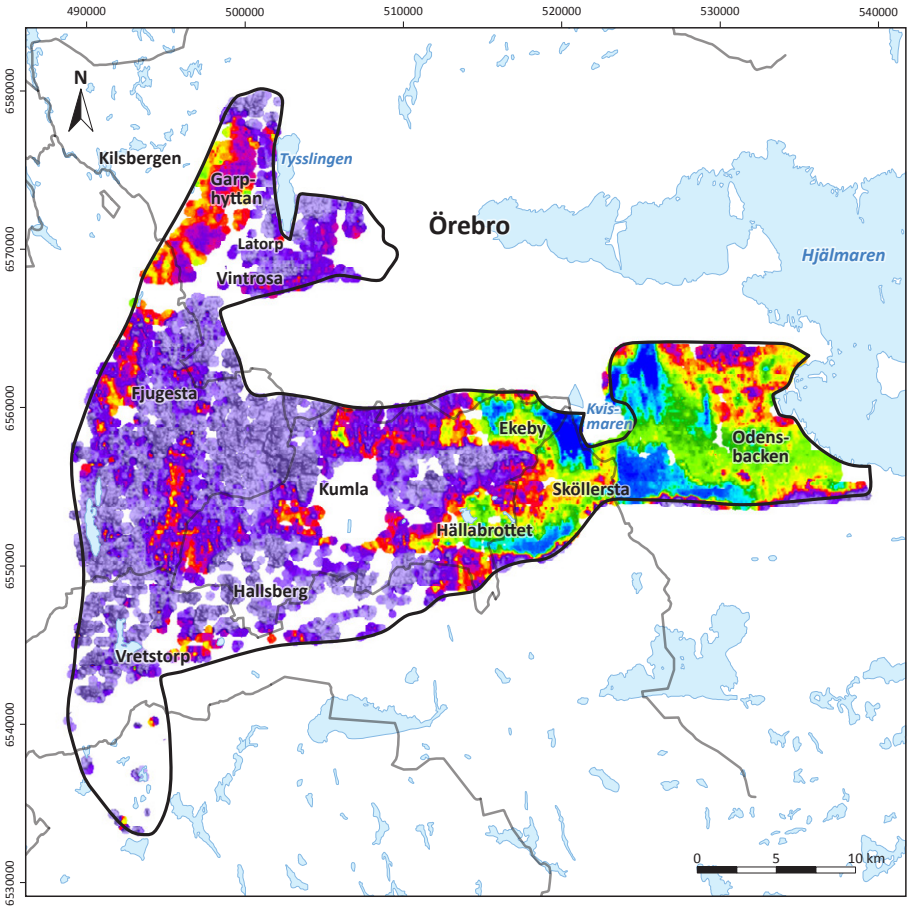
3000
1000
100
10



Medelresistivitet i intervallet 20 till 30 m ö.h.

Resistivitet (ohmm)

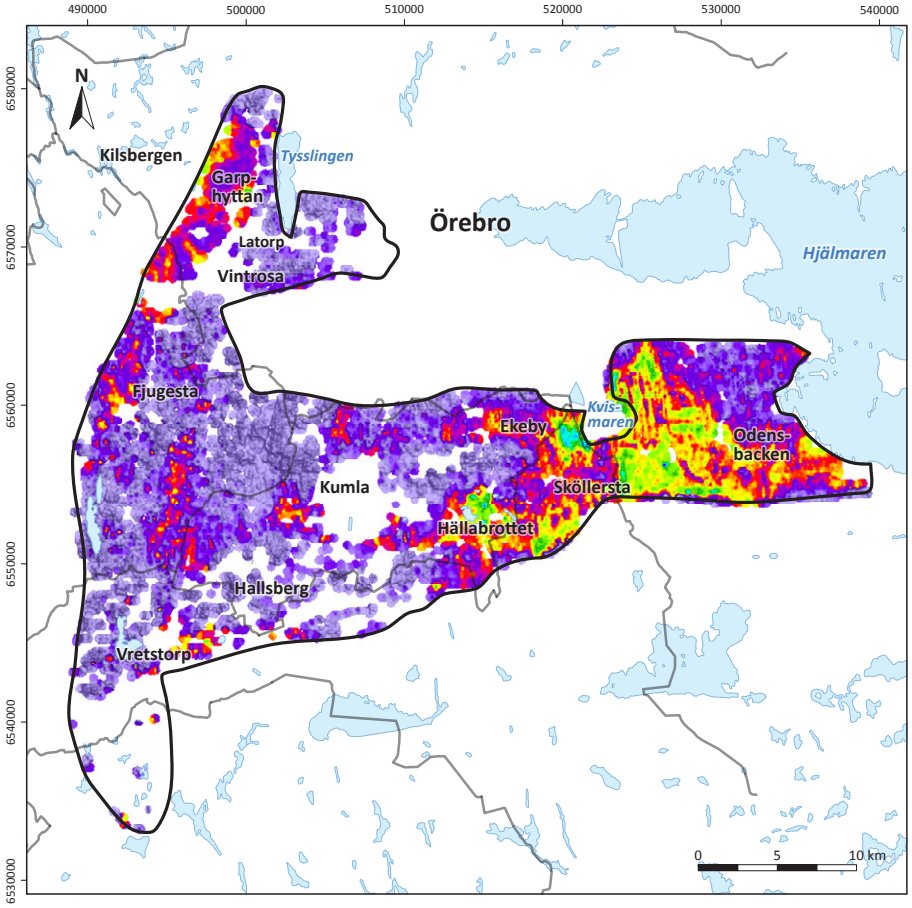
3000
1000
100
10



Medelresistivitet i intervallet 10 till 20 m ö.h.

Resistivitet (ohmm)

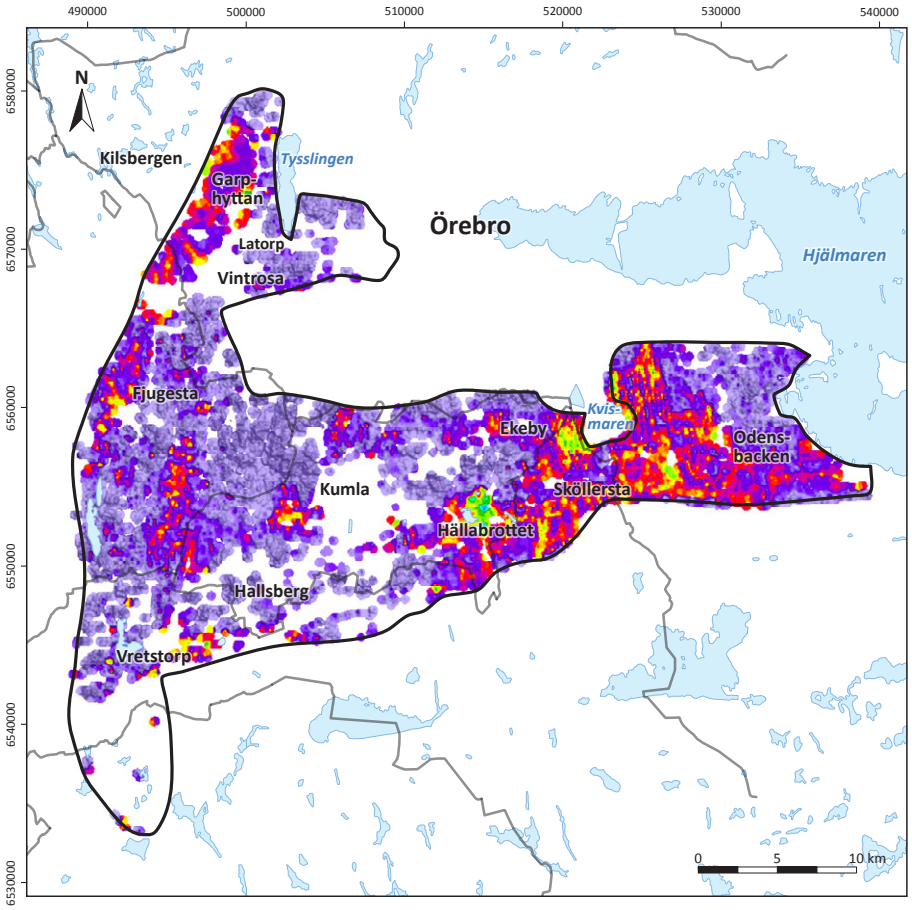
3000
1000
100
10



Medelresistivitet i intervallet 0 till 10 m ö.h.

Resistivitet (ohmm)

3000
1000
100
10



Medelresistivitet i intervallet –10 till 0 m ö.h.

Resistivitet (ohmm)

3000
1000
100
10