

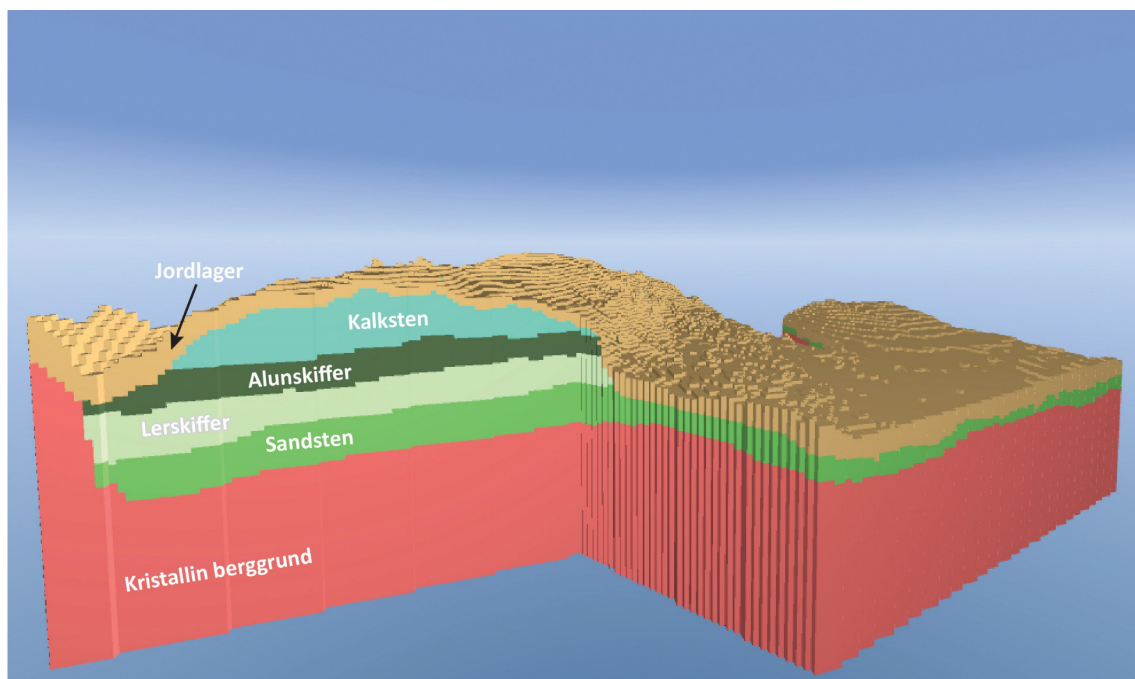
Geologisk 3D-modell

Närkeslätten, Örebro län

Lena Persson

september 2023

SGU-rapport 2023:12



Omslagsbild: Utsnitt ur den geologiska 3D-modellen över Närkeslätten i området vid Latorpsplatån. Beträktelsepunkten ligger i söder och den vertikala skalan är överdriven 20 gånger i förhållande till den horisontella.
Grafik: Lena Persson

Författare: Lena Persson
Granskad av: Cecilia Brolin och Peter Dahlgvist
Ansvarig avdelningschef (tf): Jennie Abelsson
Redaktör: Åsa Gierup
Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

INNEHÅLL

Sammanfattning.....	4
Inledning.....	4
Intressenter och samarbetspartner	4
Syfte.....	4
Underlag.....	5
Flygburna TEM-mätningar.....	5
Brunnsarkiv och borrhningar	7
Brunnsarkiv och lagerföljdsdata.....	7
Utförda jord- och bergborrningar och borrhålsloggning.....	8
Geofysiska markmätningar.....	8
Övriga kartor och databaser.....	8
Terrängläge och geologisk översikt.....	9
Metoder.....	11
Modellens begränsningar och osäkerhet.....	11
Resultat.....	12
Referenser.....	14

SAMMANFATTNING

En geologisk 3D-modell har tagits fram över den sedimentära berggrunden på Närkeslätten i Örebro län som innefattar delar av Örebro, Lekeberg, Kumla och Hallsbergs kommuner (fig. 1). Jordlagren har modellerats som en enhet. Modellen bygger på resistivitetsmodeller från helikopterburna transient elektromagnetiska mätningar (ATEM), borrhålsuppgifter samt jordarts- och berggrundsinformation från SGU:s databaser. Den geologiska modellen är uppbyggd som en voxelmodell med cellstorleken $50 \times 50 \times 2$ m och går ner till 50 m under havsytans nivå.

INLEDNING

Sveriges geologiska undersökning (SGU) undersökte 2018 ett 800 km² stort område inom Örebro län med helikopterburna transient elektromagnetisk mätning (ATEM – Airborne Transient Electromagnetics) (Persson m.fl. 2020). De helikopterburna mätningarna inom Örebro län koncentrerades till områden med sedimentär berggrund, det vill säga Närkeslätten. Ett syfte med undersökningarna var att ta fram ett förbättrat geologiskt underlag för att kunna identifiera områden med goda förutsättningar för grundvattenuttag. Undersökningen utgjorde en del av det regeringsuppdrag SGU hade för en utökad kartläggning och karaktärisering av grundvattenresurser, den så kallade grundvattensatsningen (Abelsson m.fl. 2020).

Undersökningen resulterade i helt ny kunskap om markens tredimensionella uppbyggnad i området (Persson m.fl. 2020). En ny tolkning av förkastningarna i området har utförts och den berggrundsgeologiska kartdatabasen har uppdaterats. Dessa data och tolkningar har använts som underlag i arbetet med att ta fram en geologisk 3D-modell över den sedimentära berggrunden på Närkeslätten. Modellen består av de olika sedimentära bergarternas litologiska indelning samt gränsen till det underliggande kristallina berggrunden och ovanliggande jordarter. All modellering har skett i programvaran Geoscene 3D (I-GIS) och modelleringsledare har varit Lena Persson.

Intressenter och samarbetspartner

Huvudsakliga intressenter som modellen vänder sig till är berörda kommuner, länsstyrelsen, vattenmyndigheten, konsulter och universitet.

SYFTE

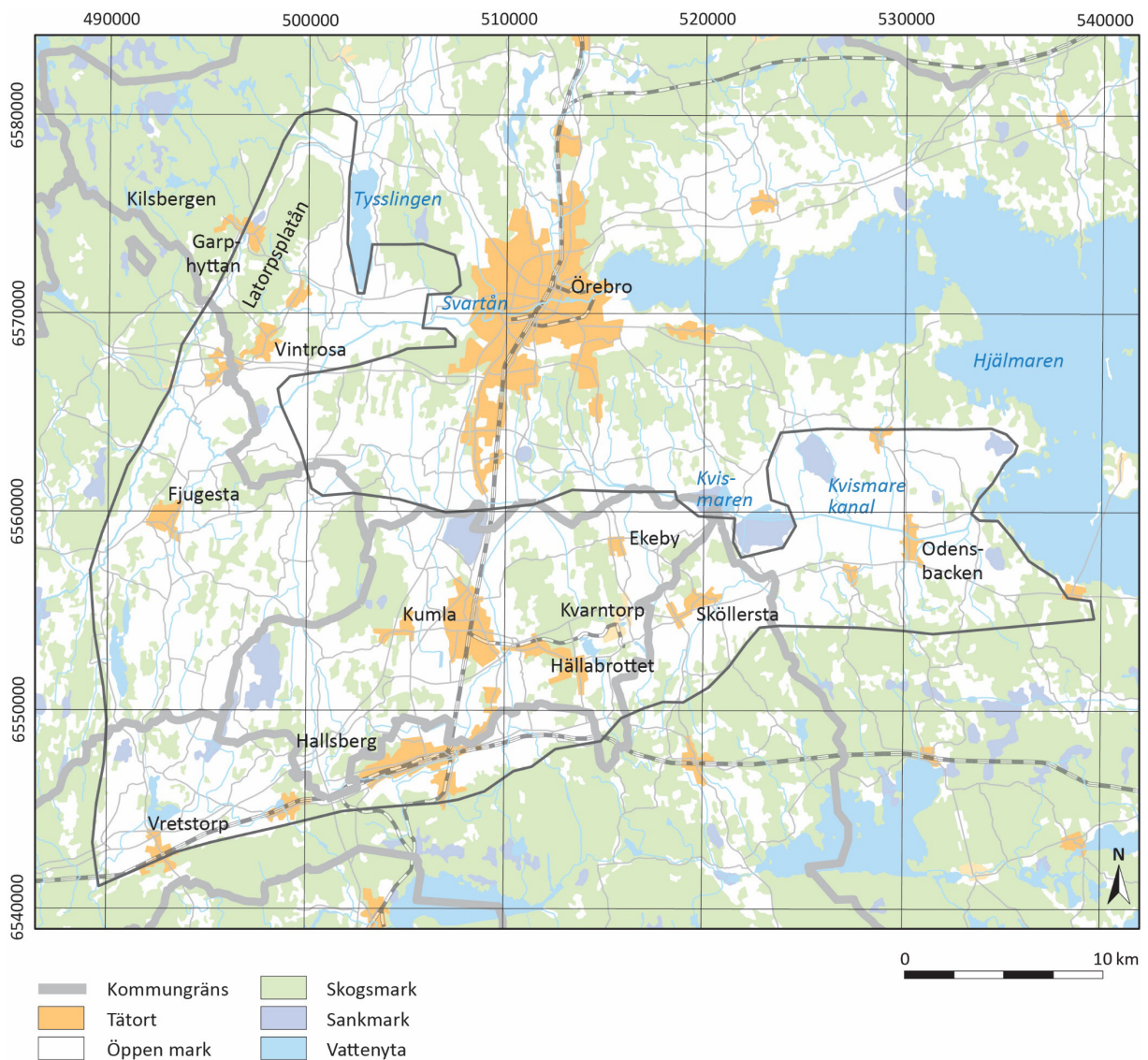
Syftet med modellen är att ge en översiktlig bild av den sedimentära berggrundens uppbyggnad samt en uppdaterad och förbättrad jorddjupsmodell över området. Exempel på användningsområden är grundvattenprospektering, undermarksarbeten, vattenförvaltning samt sårbarhets- och riskanalyser kopplade till markanvändning.

Den geologiska 3D-modellen är tänkt att användas i skalan 1:200 000, med beaktande av de osäkerheter som finns i klassningar och avgränsningar av jord- och berglager under markytan. Modellen är betydligt mer översiktlig i de mindre områden där ATEM-data saknas.

UNDERLAG

Flygburna TEM-mätningar

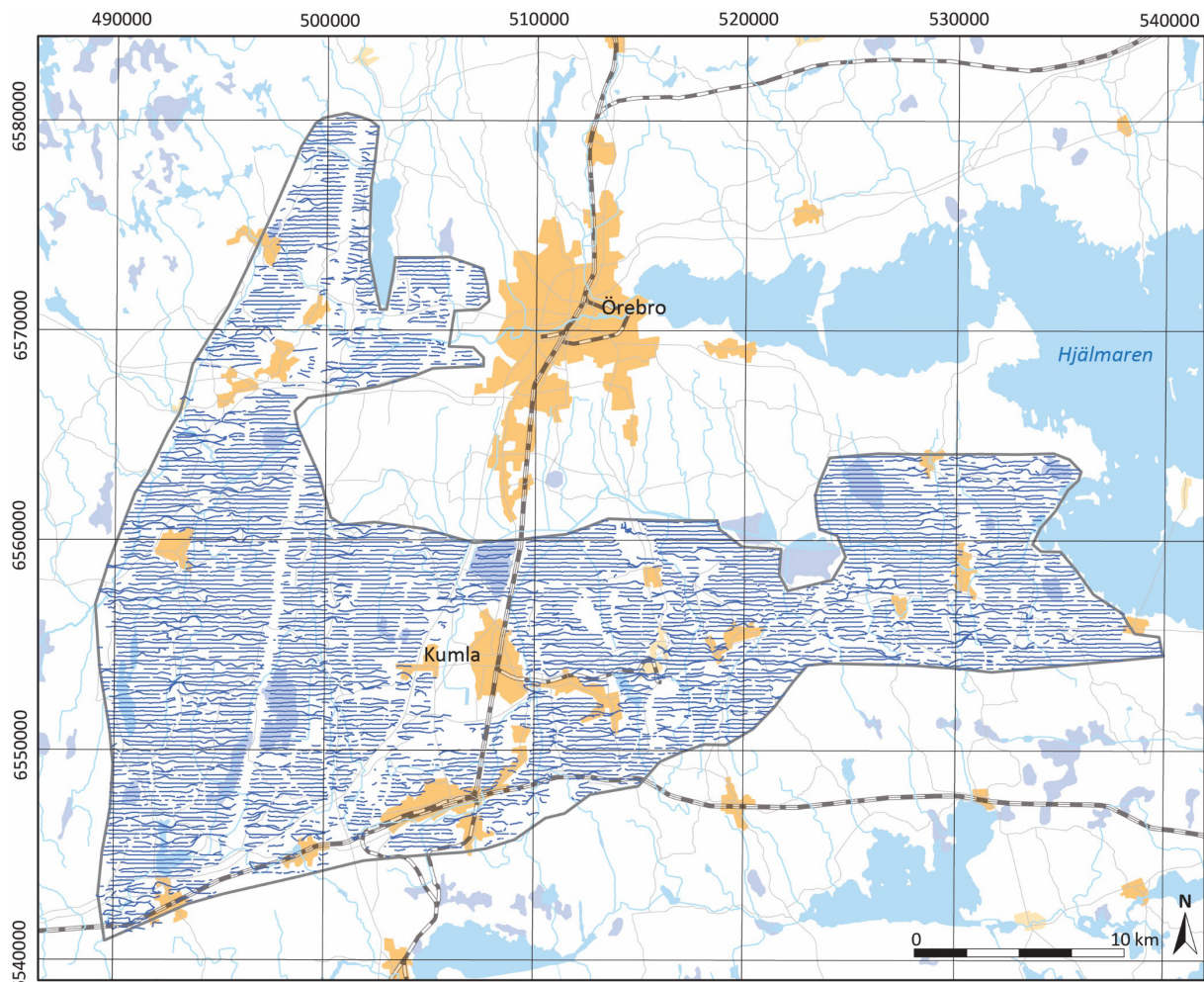
Undersökningar med helikopterburen TEM utfördes 2018 och undersökningsområdet täcker cirka 800 km² (fig. 1). Undersökningarna utfördes av det danska företaget SkyTEM Aps, längs öst-västliga parallella linjer med cirka 200 m mellan linjerna (SkyTEM 2018). SkyTEM, som även är benämningen på själva mätsystemet, är ett helikopterburet elektromagnetiskt mätsystem. Mätresultaten presenteras vanligtvis som elektrisk resistivitet, det vill säga motstånd att leda ström, och anges i enheten ohmmeter (ohmm). Variationerna av den elektriska resistiviteten i jordlagren och berggrunden beror framför allt på skillnader i porositet, vattenhalt och lerhalt.



Figur 1. Modellområdet Närkeslätten inom Örebro län.

Insamlade data har bearbetats och modellerats i programvaran Aarhus Workbench (Aarhus GeoSoftware). Vid bearbetningen rensas data som är påverkade av olika typer av infrastruktur bort. Med så kallad inversionsteknik skapas därefter en resistivitetsmodell för varje mätpunkt som visar resistivitetsfördelningen i marken ner till cirka 150 m. Modellerna kan sedan visualiseras och tolkas i så kallade resistivitetssektioner, det vill säga ett tvärsnitt som visar resistivitetsfördelningen på djupet längs en profil på ytan. Ofta utgörs profilen av en flyglinje.

Figur 2 visar datatäckning för ATEM-data efter rensning. Data saknas framför allt inom tätorterna där inga mätningar utförts. Dessutom råder flygförbud inom en radie på två kilometer från Kumla-anstalten. Data har även rensats bort längs större vägar, järnväg och kraftledningar på grund av störningar.

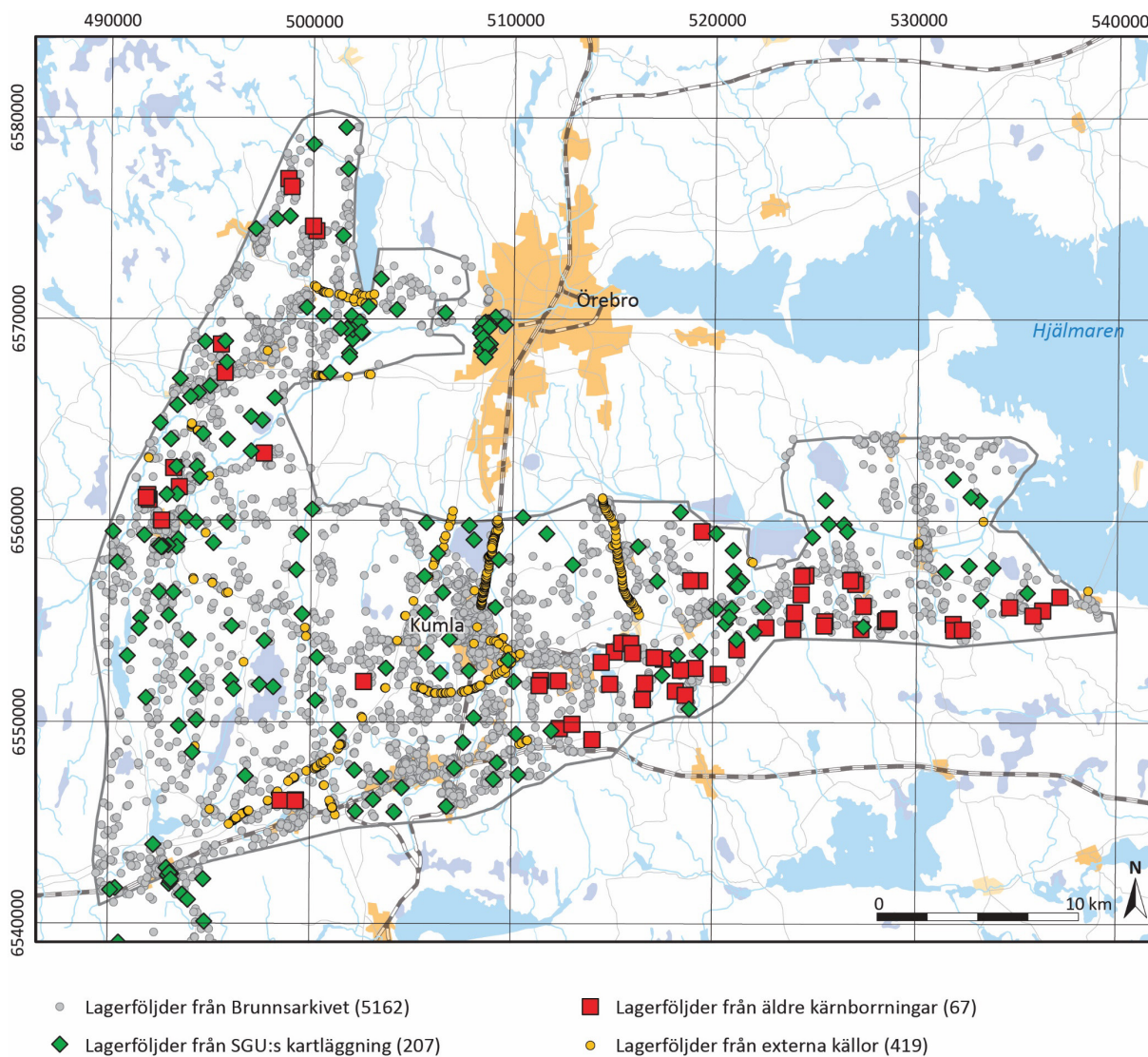


Figur 2. Modellområdet med datatäckning (ATEM) efter rensning av data.

Brunnsarkiv och borrhningar

Brunnsarkiv och lagerföljdsdata

Information om jord- och berglagerföljder har hämtats från SGU:s databaser. De flesta observationer av lagerföljder kommer från Brunnsarkivet (SGU 2019a) som innehåller borrprotokoll från framför allt borrhningar för enskild vattenförsörjning och geoenergi. Totalt har information från 5 162 brunnar i Brunnsarkivet och 206 sonderingsborrningar från SGU:s jord- och grundvattenkartläggning ingått i underlaget, se figur 3 (SGU 2019b). Dessutom har uppgifter från 419 borrhningar från Trafikverket, merparten längs väg och järnväg, använts vid modelleringen. Den geografiska noggrannheten för lagerföljder från Brunnsarkivet kan ha en positionsosäkerhet på över 200 m. Kvaliteten på inhämtat underlag om lagerföljder varierar även stort beroende på borrhningens syfte. En borrhning från SGU:s jordartskartläggning har i regel pålitlig information för i princip varje meter av jordlagerföljden, medan det vid en borrhning för en energibrunn endast finns djupuppgifter för övergången mellan jord och berg.



Figur 3. Borrhningar från SGU:s databaser och externa källor som använts som underlag vid 3D-modelleringen.

Inom undersökningsområdet finns även äldre kärnbörningar som utförts inom tidigare SGU-projekt, främst i samband med undersökningar av alunskiffer på 1940-talet (Westergård 1940). Totalt har 67 kärnbörningar i berggrunden ingått som underlag vid tolkningen (fig. 3). I arbetet med att ta fram en enhetlig lagerföljdsbenämning har en sammanslagning och förenkling av de hundratals olika lagerföljdsuppgifter och benämningar som finns i databaserna gjorts.

Utförda jord- och bergbörningar och borrhålsloggning

Sju börningar i jordlagren och nio undersökningsbörningar i jord och berg utfördes inom modellområdet, se figur 4 (Persson m.fl. 2020). Syftet med börningarna var framför allt att få information om lagerföljder i jordlagren och berggrunden. Vid börningen togs ett kaxprov varje meter i jordlagren och var tredje meter i berggrunden. Kaxproven undersöktes okulärt för en bedömning av lagerföljden för varje borrhål.

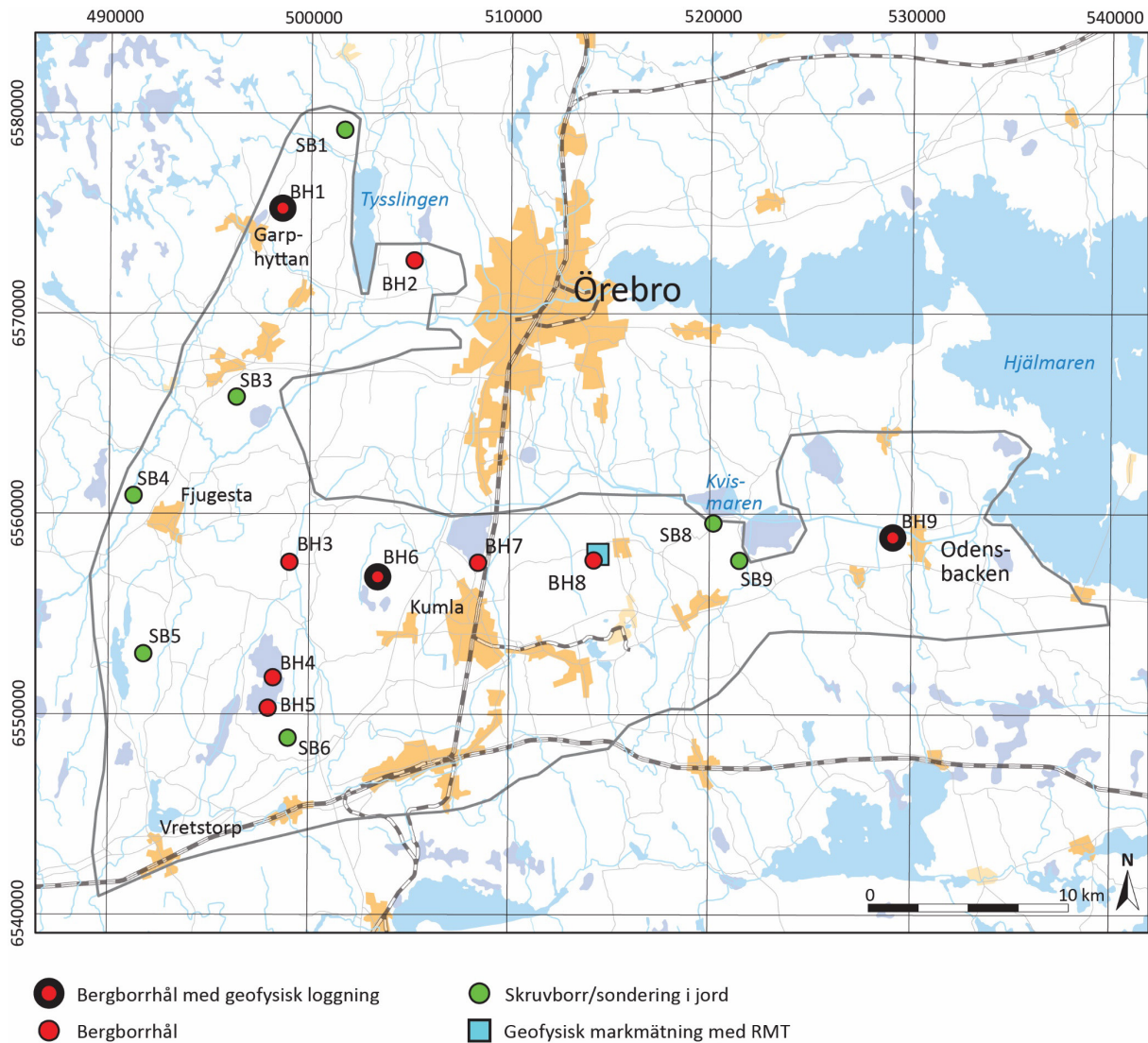
Geofysisk borrhålsloggning utfördes i tre av de djupaste borrhålen BH1, BH6 och BH9 (fig. 4). Mätningarna utfördes med mätsonder som mäter temperatur, vattnets konduktivitet, resistivitet, självpotential och naturlig gammastrålning. Dessutom användes en så kallad caliper log som mäter borrhålets diameter 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 Persson m.fl. (2020).

Geofysiska markmätningar

En geofysisk markprofil med radiomagnetotellurik (RMT) uppmättes i ett område där ATEM-data indikerade en förkastning, se figur 4. Syftet med undersökningen var att få en mer detaljerad information om resistivitetsfördelningen i området och för att karaktärisera den troliga 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.

Övriga kartor och databaser

- Lantmäteriets höjdmodell GSD-Höjddata, grid 2+ (2020), som sedan har gjorts om till ett 100 × 100 m grid.
- SGU:s jorrdjupsmodell (SGU 2020a). Modellen har använts för att initialt definiera berggrundsytan. Denna yta har efter hand justerats med hänsyn till ny information, framför allt resistivitetsmodeller från ATEM-data och nya borrhålsuppgifter.
- SGU:s jordartskarta (SGU 2020b). Skalan i modellområdet är 1:50 000.
- SGU:s berggrundskarta (SGU 2020c). Skalan i modellområdet är 1:50 000.



Figur 4. Sonderingar, borrhningar och geofysisk markmätning och loggning (Persson m.fl. 2020).

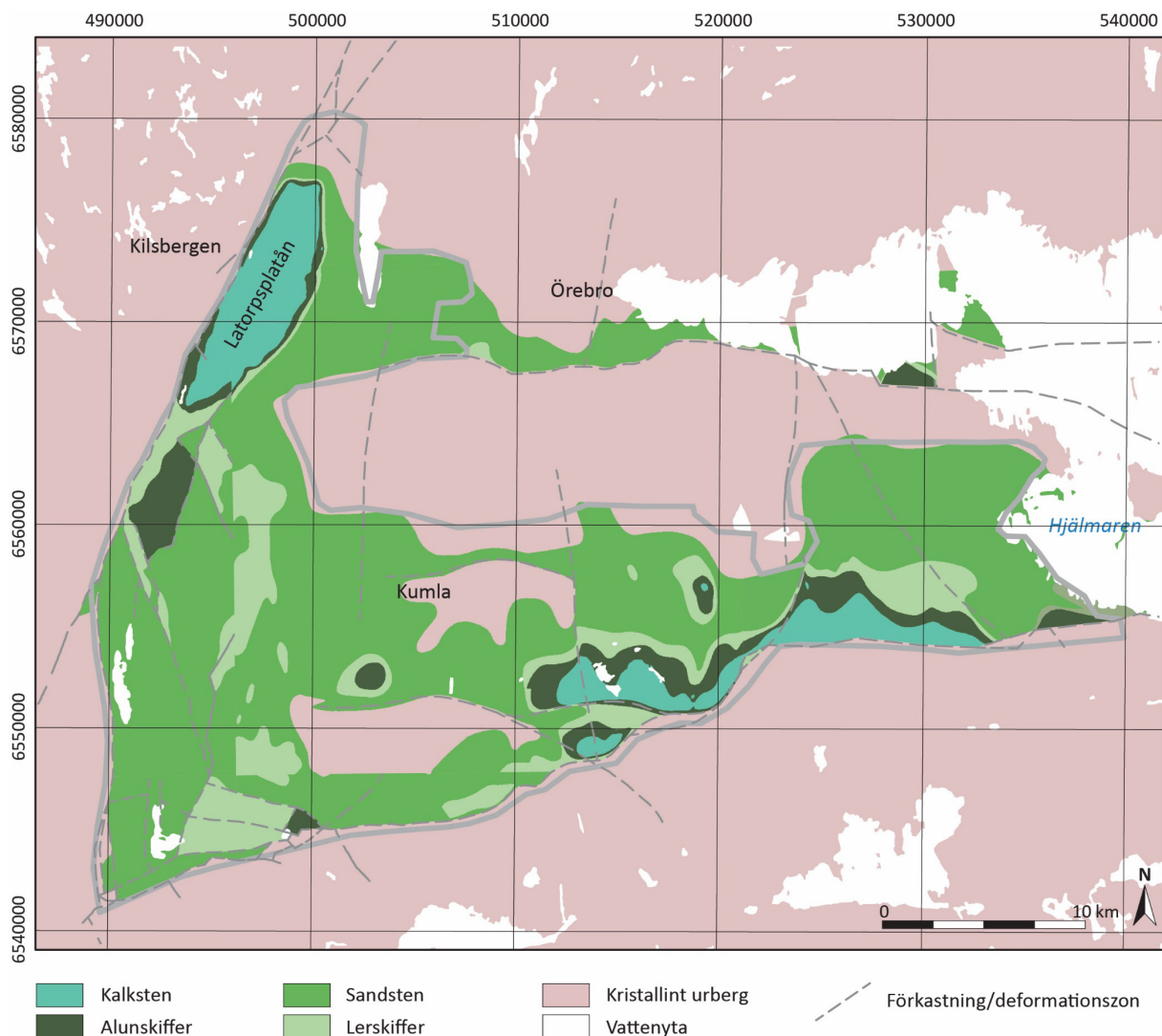
TERRÄNGLÄGE OCH GEOLOGISK ÖVERSIKT

Modellområdet ligger inom Örebro län och berör delar av Örebro, Lekeberg, Kumla och Hallsbergs kommuner (fig. 1). Området är cirka 800 km² 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. Själva undersökningsområdet är relativt flackt. Latorpsplatån i den nordvästra delen, med bevarade kalkstenslager på toppen syns som en tydlig höjdpåta. I den centrala delen av området finns Kvarntorpshögen, som med sina 157 m ö.h. utgör Närkeslättns högsta punkt. Här deponerades avfallet från utvinningen av oljeskiffer under åren 1942 till 1966. Jordartsfördelningen inom området är relativt heterogen och domineras av lera och morän.

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 (fig. 5). Den kristallina berggrunden är 1,9–1,8 miljarder år gammal och tillhör den litotektoniska enheten Bergslagen. 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.

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 växellagrar med lerskiffer som på många ställen är dåligt konsoliderad. Sandstensens mäktighet varierar inom undersökningsområdet, vilket antingen beror på den kristallina berggrundens morfologi eller på hur mycket som har eroderat bort efter det att sandstenen bildades. Lundegårdh och Fromm (1971) anger sandstensens mäktighet till maximalt 15–18 m.



Figur 5. Berggrundskarta över modellområdet baserad på SGU:s berggrundsgeologiska kartdatabas (SGU 2020c).

Över sandstenen påträffas en grågrön lättvittrad lerskiffer som är 7–20 m mäktig (Lundegårdh & Fromm 1971), beroende på var i undersökningsområdet man befinner sig. Den 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. Alunskiffer är en mörkbrun och svart skiffer som skiljs från den underliggande lerskiffern genom dess färg och innehåll av organiskt material.

Kalksten påträffas i dag endast i nordväst, på Latorpsplatån, och vid den södra förkastningsbranten (fig. 5). 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.

METODER

All modellering har skett i programvaran Geoscene 3D (I-GIS). Modellen har tagits fram genom att tolkningspunkter lagts in manuellt i resistivitetssektioner längs flygmätninglinjerna så att de bildar ett regelbundet nätverk med ungefär samma avstånd mellan varje punkt (fig. 6a, b). I områden med dålig täckning av data kan avståndet mellan tolkningspunkterna vara större. Därefter har varje punktskikt interpolerats till en yta med cellstorlek 100×100 m. Lagermodellen har sedan konverterats till en voxelmodell med cellstorleken $50 \times 50 \times 2$ m. Därefter har voxelmodellen korrigerats manuellt till den slutliga 3D-modellen.

Genom att jämföra resistivitetsdata med lagerföljdsinformation från borrhningar, tillsammans med information från jordartskartan och berggrundskartan, har det varit möjligt att översätta resistivitetsinformationen till geologisk information. Jordlagren inom området har generellt lägre resistivitet jämfört med berggrunden förutom i områden där berggrundsytan består av lerskiffer, där förhållandet är det omvända. Inom den sedimentära berggrunden har lerskiffer lägst resistivitet (generellt mindre än 50 ohmm) och är därför lätt att identifiera i resistivitetsdata (fig. 6a). Områden med kalksten i överytan kan även urskiljas på grund av sin karaktäristiska resistivitets-signatur. Däremot är gränsen mellan kalksten och alunskiffer svårare att avgränsa och detsamma gäller gränsen mellan sandsten och urberg. Här är information om lagerföljder från borrhningar till stor hjälp vid tolkningen (fig. 6a).

MODELLENS BEGRÄNSNINGAR OCH OSÄKERHET

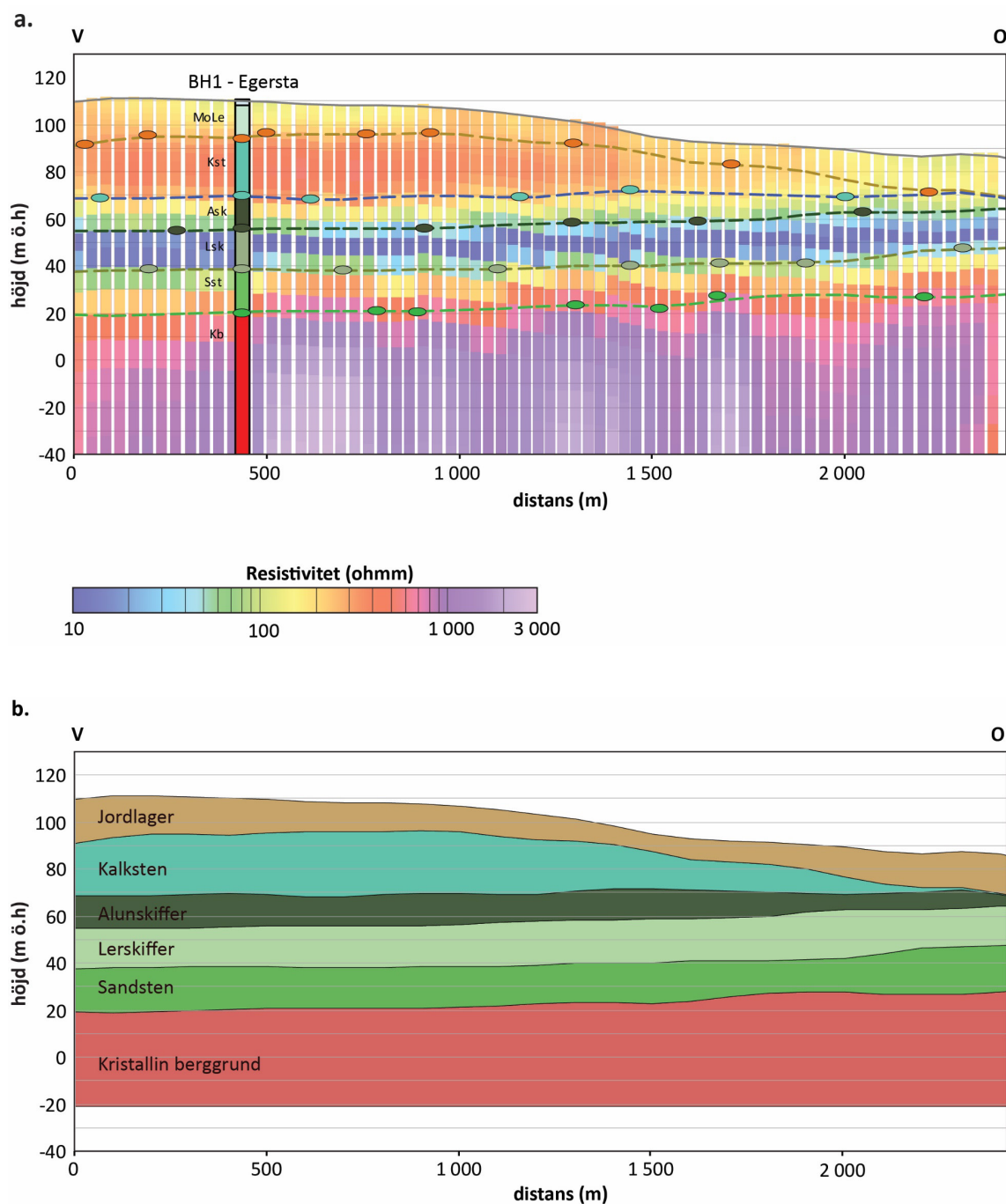
3D-modellerna ger en generaliserad bild av jordlagret och berggrunden, och osäkerheten i enheternas utbredning och mäktighet kan vara betydande. Osäkerheten är betydligt större i de områden där ATEM-data saknas (fig. 2) och där det finns få borrhningar med lagerföljdsinformation (fig. 3 och 4).

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

Inom modellområdet finns flera förkastningar, både tidigare kända och nya som identifierats i ATEM-data. Programvaran Geoscene 3D bygger på lagermodellering och är inte bra på att hantera snabba laterala förändringar som till exempel förkastningar. Dessa strukturer återges därför inte helt korrekt i modellen.

RESULTAT

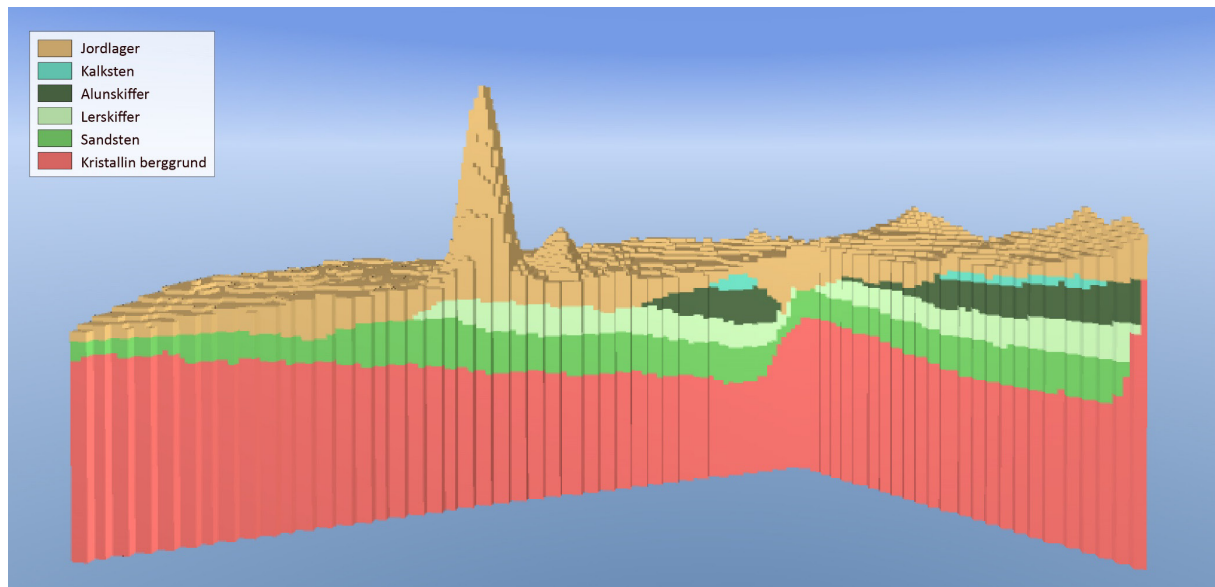
Voxelmodellen har en cellstorlek på $50 \times 50 \times 2$ m och består av sex enheter/lager: jordlager, kalksten, alunskiffer, lerskiffer, sandsten och kristallin berggrund (urberg), se tabell 1. Högsta punkten i modellen är 150 m ö.h. (Kvarntorpshögen) och modellen går ner till 50 m under havsytans nivå (fig. 7).



Figur 6. a. Exempel på resistivetsmodell med tolkningspunkter längs en öst–västlig flyglinje cirka 1 km norr om Garphyttan vid BH 1-Egersta. **b.** Lagermodell baserad på tolkningspunkterna i figur 6a. För en utförligare beskrivning av resistivetsmodell och borrhögning BH 1-Egersta se Persson m.fl. 2020.

Tabell 1. Modellerade enheter i den geologiska modellen.

Lager	Kod enligt SGU:s ramverk	Beskrivning	Lagrets mediantjocklek i meter i 3D-modellen
Jordlager	1_OSED_L-B_0		11
Kalksten	311_508	Består av relativt homogen och normalbankad, grå eller röd, lerig kalksten som är växellagrad med tunna lager av mörkgrå ler.	11
Alunskiffer	309_543	Består av mörkbrun till svart skiffer och runda kalkstenslinser, så kallade orstenar.	12
Lerskiffer	308_545	Lättvittrad grågrön lerskiffer, ibland dåligt konsoliderad.	12
Sandsten	303_546	Sandstenen har varierande kornstorlek och växellagrar med ibland dåligt konsoliderad lerskiffer.	14
Urberg	203_113	Urberget domineras av gnejs, granit samt vulkanit.	



Figur 7. Utsnitt ur den geologiska voxelmodellen längs en nord-sydlig sektion vid Kvarntorp. Beträktelsepunkten ligger i väster och den vertikala skalan är överdriven 20 gånger i förhållande till den horisontella.

REFERENSER

- Abelsson, J., Hjerne, C-E, Wendelin, E., Gustafsson, M., Lång, L-O, Dahlqvist, P. & Dahlgren, H., 2020: Slutredovisning av regeringsuppdrag. Grundvattensatsningen 2018–2020 – Utökad kartläggning och karaktärisering av grundvattenresurser. RR 2020:04. Sveriges geologiska undersökning, 34 s.
- Bastani, M., 2001: *EnviroMT: A new controlled source/radio magnetotelluric system*. Doktorsavhandling, Uppsala universitet, 179 s.
- Lundegård, P.H. & Fromm, E., 1971: Beskrivning till berggrundsgeologiska kartbladet Örebro SV. *Sveriges geologiska undersökning Af 101*, 72 s.
- Persson, L., Thorsbrink, M., Wickström, L., Pile, O., Maxe, L. & Erlström, M., 2020: Helikopterburna TEM-mätningar i Örebro län – Geologiska tolkningar och hydrogeologisk tillämpning. *SGU-rapport 2020:41*. Sveriges geologiska undersökning, 89 s.
- SGU, 2019a: Brunnsarkivet – databas. Örebro län. 2019-09-03.
- SGU, 2019b: Jordlagerföljder – databas. Örebro län. 2019-09-03.
- SGU, 2020a: Jorddjupsmodell – databas Örebro län. 2020-06-03.
- SGU, 2020b: Jordarter 1:25 000–1:100000 – databas. Örebro län. 2020-06-03.
- SGU, 2020c: Berggrund 1:50 000–1:250 000 – databas. Örebro län. 2020-06-03.
- SkyTEM, 2018: SkyTEM Survey: Östergötland and Örebro, Sweden. Data report, SkyTEM Surveys Aps, Denmark, dnr: 312–1408/2020, 44 s.
- Westergård A.H., 1940: Nya djupborrningar genom äldsta Ordovicium och Kambrium i Östergötland och Närke. *Sveriges geologiska undersökning C 437*, 72 s.