

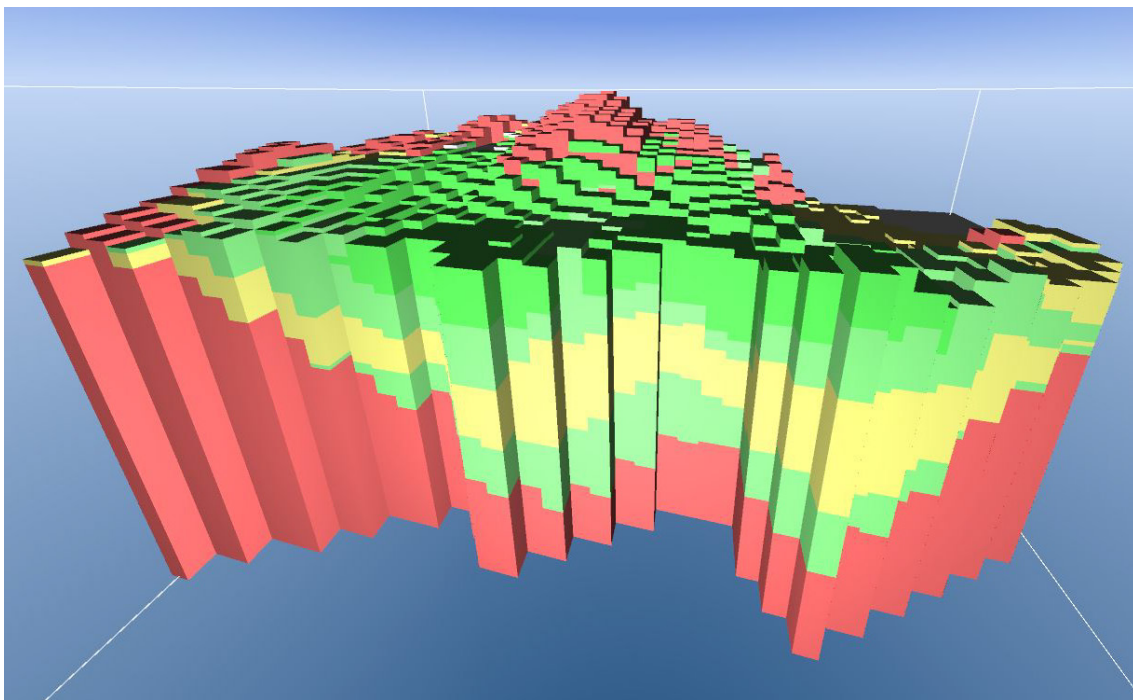
Geologisk 3D-modell

Gråbodeltat, Lerum

Daniel Sopher, Lars-Ove Lång, Johan Öhman & Eva Wendelin

juni 2020

SGU-rapport 2020:19



Omslagsbild: Geologisk voxelmodell.
Modellen framtagen av Daniel Sopher.

Författare: Daniel Sopher, Lars-Ove Lång, Johan Öhman & Eva
Wendelin

Granskad av: Cecilia Karlsson

Ansvarig avdelningschef: Helena Kjellson

Redaktör: Åsa Gierup

Sveriges geologiska undersökning

Box 670, 751 28 Uppsala

tel: 018-17 90 00

e-post: sgu@sgu.se

INNEHÅLL

Sammanfattning.....	4
Inledning.....	4
Intressenter och samarbetspartner	4
Syfte	5
Underlag.....	5
Kartor och databaser.....	5
Terrängläge och geologisk översikt.....	5
Modellområdet	6
Metoder.....	7
Jordartsmodell	9
Det finns tre olika klassificeringar av jordarter i modellen	9
Geologiska antaganden	10
Följande antaganden har gjorts under modelleringsarbetet	10
Modellens begränsningar och osäkerhet	10
Resultat.....	11
Modellerade ytor, lager och volymer.....	11
Resistivitetsmodell.....	11
Geologisk lagermodell	11
Geologisk voxelmodell	12
Referenser.....	13

SAMMANFATTNING

En geologisk 3D-modell har tagits fram över jordlagren inom huvuddelen av Gråbodeltat i Lerums kommun. Modellen bygger på en geofysisk modell som har tagits fram med hjälp av markburna TEM-mätningar (Transient Elektromagnetiska), reflektionsseismiska data, markgeofysiska data, analys av borrhålsuppgifter samt jordarts- och berggrundsinformation från SGUs databaser.

Modellens syfte är att ge en översiktlig bild av jordlagrens uppbyggnad (lagerföljd, egenskaper, mäktighet och geografiska utbredning). Extra fokus har varit att tolka och beskriva de översta lagren som kan vara intressanta att utnyttja för framtida dricksvattenförsörjning om infiltrationsdammar anläggs.

INLEDNING

Denna modell har tagits fram inom projektet ”Geodata i 3D” vid SGU. Projekts mål är att utveckla SGUs arbete med 3D-modellering med särskilt fokus på grundvatten och dricksvattenförsörjning. Projektet ingår till en del i regeringens uppdrag till SGU angående utökad kartläggning och karaktärisering av grundvattenresurser.

Gråbodeltat, beläget omedelbart norr om tätorten Gråbo, är en randbildning som ansluter till sjön Mjörn i öster. Dess läge nära Göteborg, och bristen på sand och grus i regionen har inneburit stora anspråk på uttag av material ur deltat. I samband med översyn av möjliga grundvattenresurser med potential för att bidra till den regionala dricksvattenförsörjningen inom Göteborgsregionen, har Gråbodeltat legat i fokus under en lång tid och några alternativa grundvattenresurser har inte funnits. Detta har inneburit att en stor mängd undersökningar utförts och diskussioner förts, om dess användande och bevarande. Sammanställningar av referenser finns bland annat i Nordqvist m.fl. (2006) och i Lång & Persson (2011).

Uppgifter från ett antal borrhningar och geofysiska data (markradar, resistivitet och refraktionsseismiska profiler) har samlats in. Nyligen, för att möta det ökande behovet av reservtäkt för dricksvattenförsörjningen, finns det ett förnyat intresse för området, och därmed ett behov av att skapa ett 3D-modell av området som underlag för fördjupade undersökningar. Under december 2018 samlades nya markburna transienta elektromagnetiska data (tTEM) in på Gråbodeltat (Auken m.fl. 2018). Den nya metoden ger en geofysisk bild av Gråbodeltats lagerföljder ner till ett djup av mellan 30 och 60 m. Det nya datasetet tolkades tillsammans med befintlig borrhålsinformation och markgeofysiska data för att skapa en 3D-modell av området.

Den geologiska modellen finns som en lagermodell (ytor) och en voxel-modell (3D-grid).

Modelleringsledare har varit statsgeofysiker Daniel Sopher.

Intressenter och samarbetspartner

Under 2018 inleddes en ny fas i intresset av att använda Gråbodeltat som en del i vattenförsörjningen för Göteborgs stad och Lerums kommun. För att kunna använda Gråbodeltat inom vattenförsörjningen krävs infiltration i dammar av ytvatten med den närliggande sjön Mjörn som råvattenkälla. Vid Chalmers genomförs samtidigt med denna 3D-modellering en studie för att ge ett beslutsunderlag för anläggning av en storskalig vattentäkt. 3D-modellen används aktivt i arbetet som drivs av Göteborgs Stad och Lerums kommun för att förbättra kunskapsunderlaget om Gråbodeltat inför eventuellt anläggande av vattentäkt.

SYFTE

Modellens syfte är att ge en översiktlig bild av jordlagrens uppbyggnad som underlag för att bedöma möjligheten till förstärkt grundvattenbildning genom konstgjord infiltration.

Modellen är tänkt att användas i skalområdet 1:50 000–1:100 000, med beaktande av de osäkerheter som finns i klassningar och avgränsningar av jordlagren under markytan.

UNDERLAG

Kartor och databaser

- Lantmäteriets höjdmodell GSD-Höjddata, grid 2+ (2018).
- SGUs Jorddjupsmodell.
- SGUs jordartskarta (*kartvisaren Jordarter 1:25 000–1:100 000*). Skalan i modellområdet är 1:25 000.
- Geologiska beskrivningar från undersökningsborrhål insamlade av Nordqvist m.fl. (2006) som en del av deras undersökning (16 st.) och JB-sonderingsdata (17 st.). Borrhålsuppgifter från SGUs databaser har också använts (32 st.). Samtliga borrhålsuppgifter har värderats och ett urval har använts i modelleringen. I vissa fall har informationen redigerats. Borrhålsuppgifterna finns lagrade i SGUs databaser och ingår i *kartvisaren Brunnar* och *kartvisaren Jordlagerföljder*.
- Geofysiska data från undersökningen av Nordqvist m.fl. (2006). Markradar (17 profiler), markresistivitet (CVES) (8 profiler) och refraktionsseismiska data (7 profiler).
- tTEM-data (markburna Transient Elektromagnetiska mätningar) används i modelleringen (Auken m.fl. 2018). Data insamlade tillsammans med Århus Universitet under december 2018.

Utöver ovan nämnda dataunderlag har följande informationskällor använts:

- Beskrivning till kartan Grundvattenförekomster i Lerums kommun (Lång & Persson 2011).
- Nordqvist m.fl. (2006).

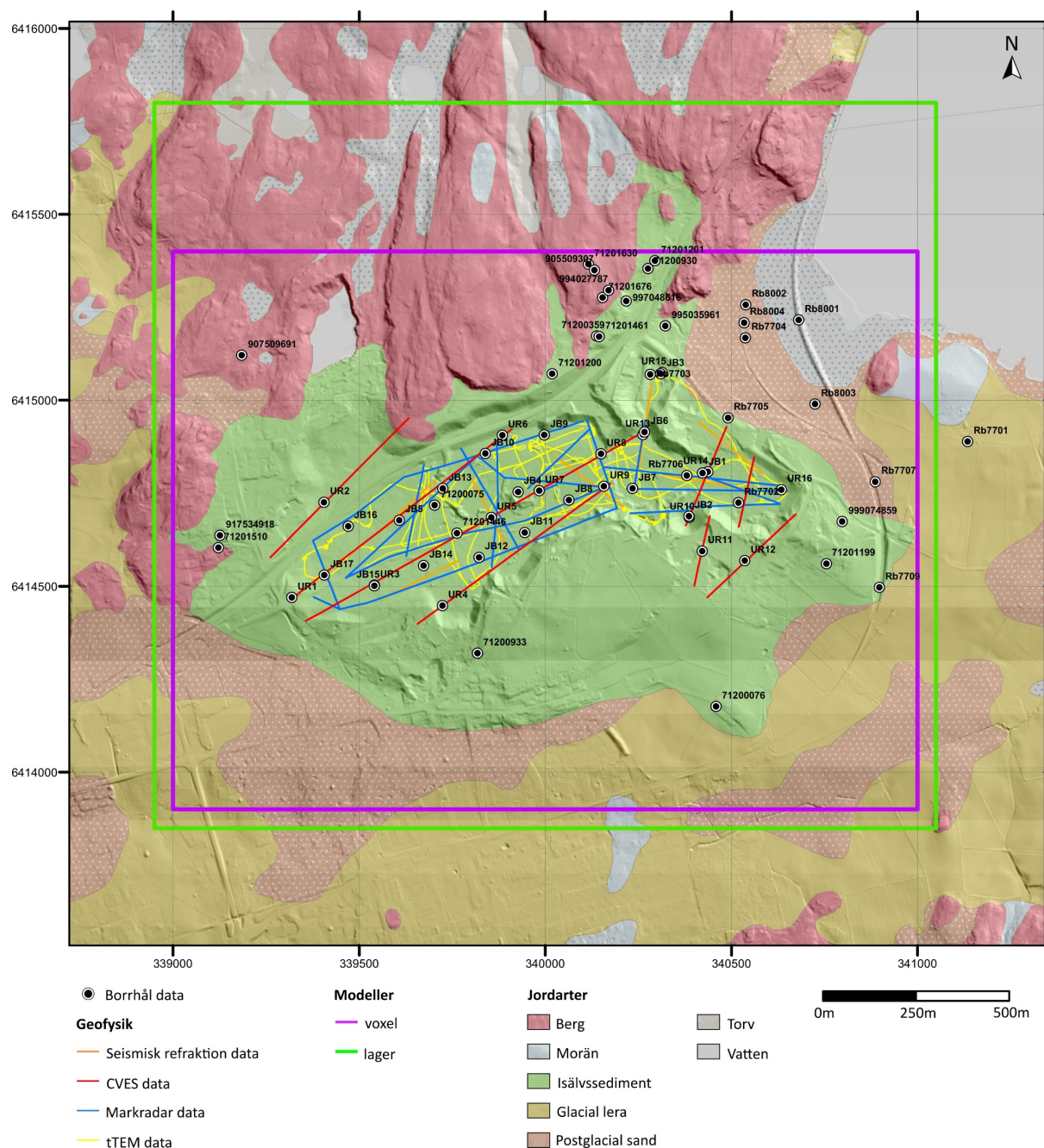
TERRÄNGLÄGE OCH GEOLOGISK ÖVERSIKT

En omfattande grustäktsverksamhet har förändrat Gråbodeltats topografiska förhållanden. Generellt finns en marklutning mot öster som är svag i de västra delarna, men relativt kraftig i öster mot Mjörn. Deltat avgränsas i norr av ett bergsmassiv, Horsaklätten. Inom deltat sker en övergång från öppna till slutna grundvattenförhållanden, genom att finkorniga sediment som lera och silt överlagrar randbildningen. Ovanpå de finkorniga sedimenten finns det på flera håll svallsediment. Deltats översta lager är ett ca 20 m mäktigt skikt av löst packade sand- och gruslager, på många håll med inslag av finare fraktioner. Under detta lager finns en hårdare packad friktionsjord, som också består av sand och grus, men med ett ökat inslag av finare fraktioner. Under detta hårt packade skikt finns ett utbrett lerlager, vars mäktighet på många håll överstiger 50 m. Leran vilar i allmänhet på berg, alternativt på morän eller sorterade sandiga lager.

Berggrunden utgörs, enligt SGUs *kartvisare Berggrund 1:50 000–1:250 000*, av tonalit-granodiorit-granit.

Modellområdet

Områdena som omfattas av modellen visas i figur 1. Utbredningen i ytan är ungefär 4 km² för lagermodellen och ungefär 3 km² för voxelmodellen. Modellens högsta punkt är ca 140 m över havet och dess lägsta punkt är ca 60 m under havsytans nivå.

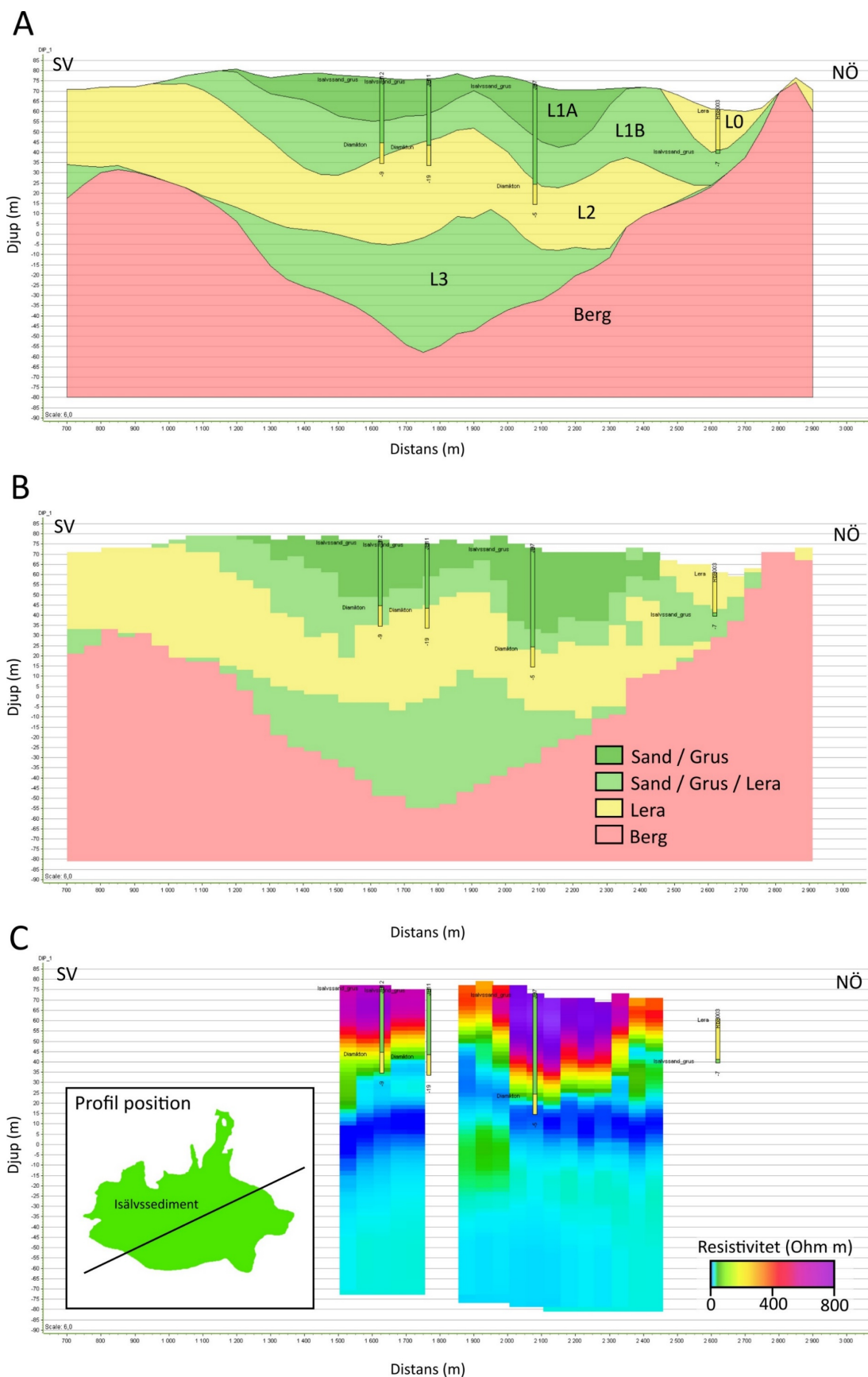


Figur 1. Jordartskarta över modellområdet. Voxelmodellens utbredning visas som lila och lagermodellens utbredning visas som grönt. Platser för befintliga borrhåll och geofysiska data anges också. Jordarter visas som färger på kartan med höjdsuggning.

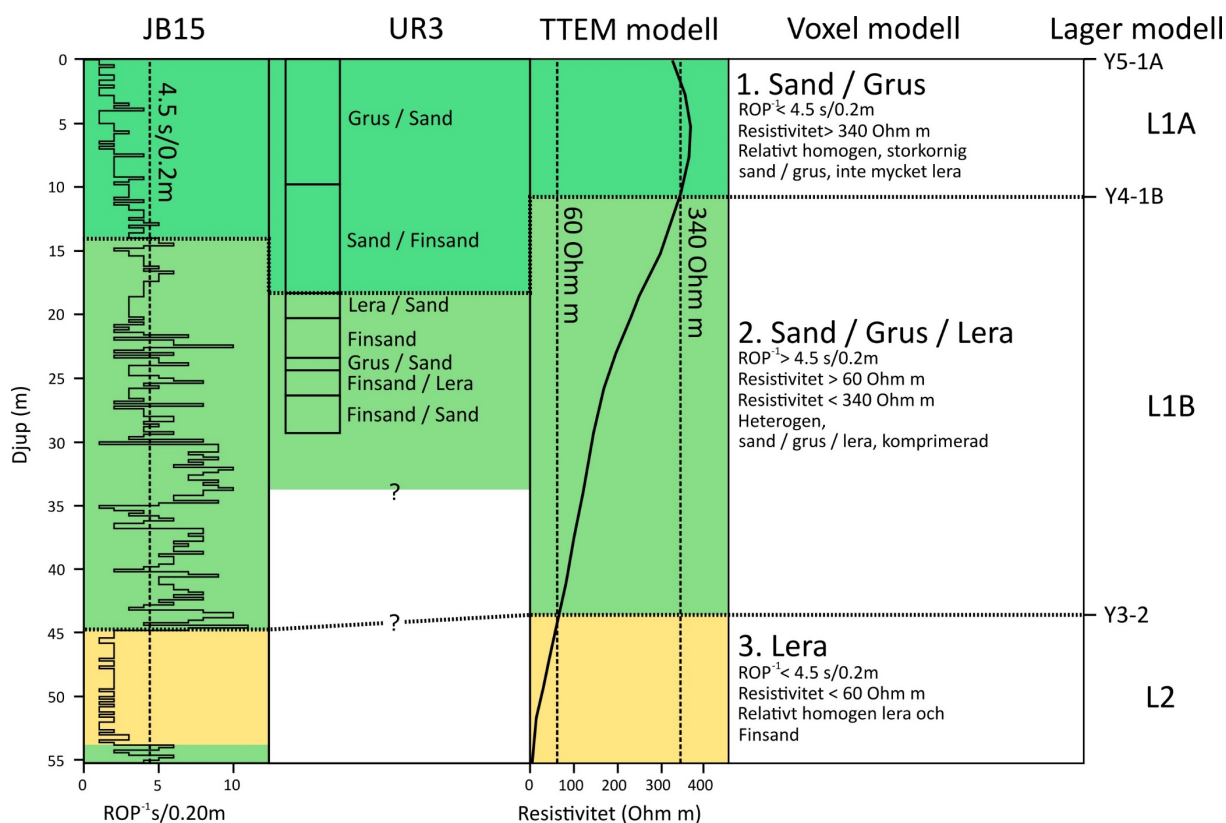
METODER

Arbetet har mestadels följt SGUs ”Översiktligt arbetsflöde vid explicit geologisk 3D-modellering” version 1.0. Modelleringsarbete har gjorts i Geoscene 3D och Matlab. En sammanfattning av arbetsflödet finns nedan.

- Bergytan interpolerades i Matlab från det beräknade jorddjupet från seismiska refraktionsundersökningar, Norqvist m.fl. 2006, och befintliga borrhålsdata. Information om berg i dagen från SGUs jorddjupskarta användes för att begränsa interpolationen.
- En förenklad lagerföljd tolkades för befintliga borrhålsdata (dvs. de lager som var tolkade att tillhöra klass 1, 2 eller 3).
- Befintliga geofysiska data (CVES, seismisk, markradar) och nya tTEM-data importerades in i Geoscene 3D tillsammans med borrhålsdata.
- Punkter tolkades i Geoscene 3D att definiera de olika ytorna i lagermodellen. Här användes tTEM-data för att tolka gränsen mellan de övre sanddominerade lagren (L1) och det undre lerrika lagret (L2). Detta framkommer ganska tydligt i tTEM-data som en minskning av resistiviteten. Delvis var gränsen mellan L1A och L1B också ganska tydlig genom en minskning av resistiviteten (se fig. 2, 3). Där tTEM-data inte var tillgänglig baserades tolkningen av dessa lager mest på borrhålsdata. Efter tolkningen av dessa punktdata skedde export till Matlab för interpolation. Efter interpolationen importerades de färdiga ytorna in i Geoscene 3D.
- Voxelmodellen skapades i Geoscene 3D. Först tilldelades modellcellerna en klass från lagermodellen (se avsnittet *Det finns tre olika klassificeringar av jordarter i modellen*). Därefter användes resistivitetsmodellen, i de områden där den var tillgänglig, för att tilldelas klasser i lagren L1A, L1B och L2. Här tilldelades alla modellceller en klass, resistivitet över 340 Ohm m (klass 1), mellan 340 och 60 Ohm m (klass 2) och under 60 Ohm m (klass 3).



Figur 2. Exempel på tolkning och beskrivning av en tvärsektion genom Gråbodeltat. Läget för profilen framgår av kartan längst ned till vänster. Den geologiska tolkningen kan beskrivas på två sätt: A) lagermodell (L0=glacial lera, L1A=sand och grus, L1B= sand, grus och lera, L2=glacial lera och L3 = sand, grus och lera) och B) voxelmodell. Båda tolkningarna vilar på samma resistivitetsmodell (C).



Figur 3. Klassificeringsschema för modellerade jordarter. Tre jordartsklassificeringar (kolumn "Voxelmodell") i förhållande till underlagsdata: jord/bergsonderingsdata (kolumn JB15), geologiska beskrivningar av borrhål (kolumn UR3), och resistivitetsdata (tTEM-modell). JB-loggar visas i ROP⁻¹ vilket är inversen av "Rate of Penetration" (dvs. höga värden betyder låg borrhastighet).

Jordartsmodell

Modellen baseras på jordartsklasser som är förenklingar av de etablerade begreppen som används i SGUs jordartskartor. Ett klassificeringsschema (fig. 3) används för att bestämma jordart baserat på geofysiska samt hydrogeologiska egenskaper. Figur 3 visar ingående kriterier som använts i tolkningen, liksom förhållandet mellan voxel- och lagermodellerna.

Det finns tre olika klassificeringar av jordarter i modellen

1. Sand/Grus

Det finns en sand/grus-klass vilket motsvarar det översta grovkorniga lagret i Gråbodeltat. I den här klassen gäller generellt att resistiviteten är relativt hög, vilket tolkas som att innehållet av lera är mycket lågt. Den här jordarten är ganska homogen och lätt att borra genom (låga JB-sonderingsvärden/höga ROP-värden). Ur en hydrogeologisk synpunkt så borde den här klassen ha den högsta transmissiviteten, då jordlagren inte är så kompakterade och det inte förekommer mycket lera.

2. Sand/Grus/Lera

Sand/grus/lera-klassen är huvudsakligen grovkorning (sand och grus), men innehåller också lera. På grund av närvaron av lera karakteriseras denna klass även av lägre resistivitet än klass 1 i tTEM-data. Generellt har jordlagren i denna klass högre bormotstånd, vilket tolkas som att jordlagren är mer kompakterade än de i klass 1. Transmissiviteten i denna klass bör vara lägre än i klass 1, på grund av att jordlagren är mer kompakterade och innehåller lera.

3. Lera

Klassen lera kännetecknas av låga JB-sonderingsvärden (dvs. höga ROP värden) och låga resistivitetsvärden. Från geologiska beskrivningar i borrhål anges att det förekommer finkornig silt/lera och att dessa jordlager oftast är ganska homogena. Denna jordlagerklass har modellens lägsta transmissivitet då den är finkornig och rik på lera. Jordarter av underordnad betydelse och jordarter med liknande egenskaper som lera, har lagts i klass 3 i modellen.

Geologiska antaganden

Följande antaganden har gjorts under modelleringsarbetet

- Jorddjupsuppgifter från tidigare seismiska refraktionsmätningar (Nordqvist m.fl. 2006) antas vara korrekta och rimliga. De seismiska jorddjupsuppgifterna användes för interpolation av bergytan.
- SGUs jordartskarta antas vara korrekt avseende utbredning av isälvssediment, vatten och berg i dagen. Jordartskartan har använts för att begränsa modellens utbredning av jordlager.
- Det antas att resistivitetsvärden kan användas för att klassificera de jordarter som ingår i modellen (tilldela klass i modellen).
- Förekomst av postglacial sand och torv på jordartskartan antas ha försumbar mäktighet och inkluderas därför inte i modellen.
- Vattendjupet i Mjörn antas öka med avståndet från stranden upp till maximalt 8 m inom modellerat område. Inga vattendjupsdata har använts i modelleringen.

MODELLENS BEGRÄNSNINGAR OCH OSÄKERHET

- Den geologiska 3D-modellen ger en generaliserad beskrivning av deltats jordlager, både avseende komposition, utbredning och mäktighet. Det finns en betydande osäkerhet kring lagrens utbredning och mäktighet, vilket bör tolkas med viss försiktighet.
- Modellens osäkerhet ökar med djupet eftersom datatillgången avtar med djupet. Till exempel, när det gäller det lägsta sandlagret L3 finns det relativt få borrhålsdata för att modellera och man kan oftast inte använda tTEM-data på det här djupet. Osäkerheten i modellen förmodas också öka utanför det centrala området, eftersom de flesta borrhåls- och geofysiska data är koncentrerade till mitten av modellen (fig. 1).
- Lagren i lagermodellen är en förenklad beskrivning av jordarterna. I många fall är gränsen mellan lagren otydlig och tolkningen av borrhålsdata kan vara behäftad med ganska stor osäkerhet. Även resistivetsmodellen är förenklad och därför finns det osäkerhet i tolkningen av de geologiska gränserna i modellen. Det bör också noteras att det kan finnas tunna finkorniga lager i de översta sandlagren (L1A och L1B) som inte finns representerade i modellen. Tunna sandlager kan också finnas i lerlagret (L2) utan att vara representerade i modellen.

RESULTAT

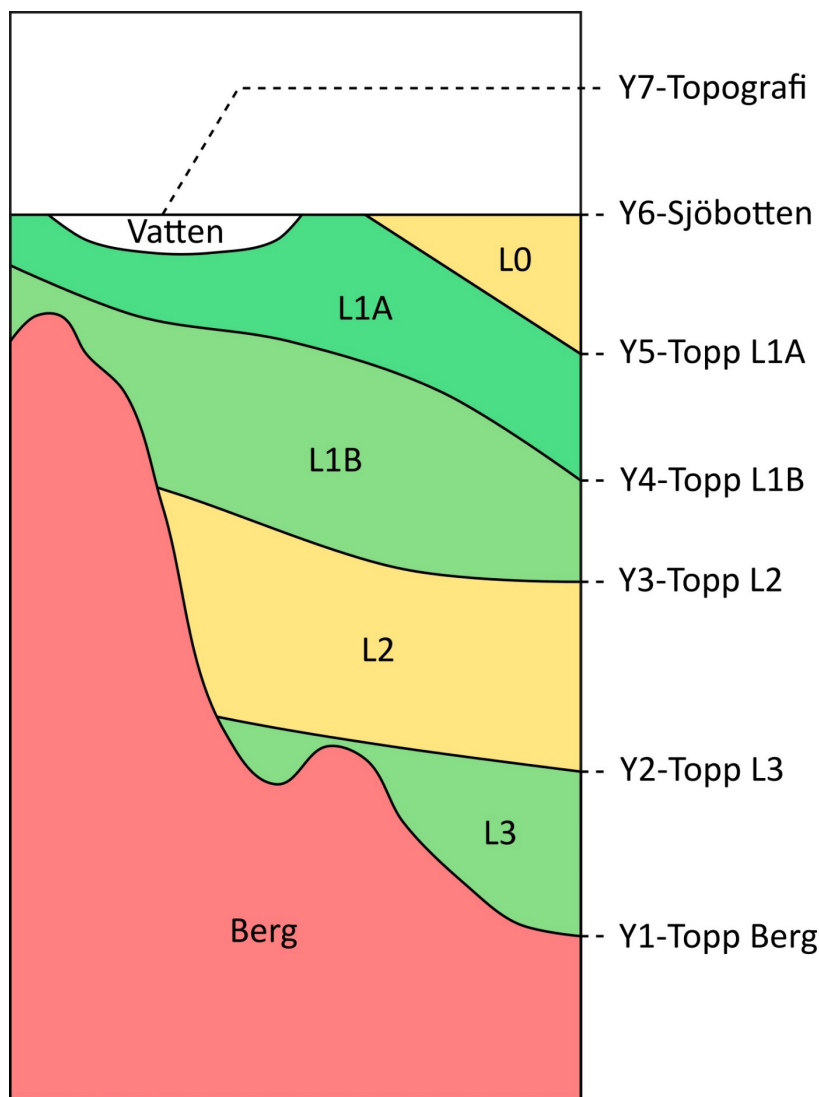
Modellerade ytor, lager och volymer

Resistivitetsmodell

En resistivitetsmodell togs fram av resistivitetsprofiler från tTEM-mätningar. De olika klasserna i modellen omvandlades till jordartsklasser enligt schema i figur 3.

Geologisk lagermodell

Den geologiska lagermodellen består av 7 lager, som beskrivs som 7 ytor. Inom ett specifikt modellager antas jordartsklassen vara konstant. Figur 4 visar förhållandet mellan de olika lagren och ytorna i modellen. Ytorna Y7–Y1 har en cellstorlek av 50 × 50 m. Modellens jordartsindelning (se ”Lager” i tabell 1) är en förenkling av SGUs jordartskarta över området (*kartvisaren Jordarter 1:25 000–1:100 000*). Jordarter av underordnad betydelse och jordarter med liknande egenskaper har sammanslagits med någon av de fem klasser som modellerats.



Figur 4. Schematiskt diagram som visar förhållandena mellan de olika lagren och ytor i lagermodellen.

Tabell 1. Modellerade lager enligt en generaliserad jordlagerföljd.

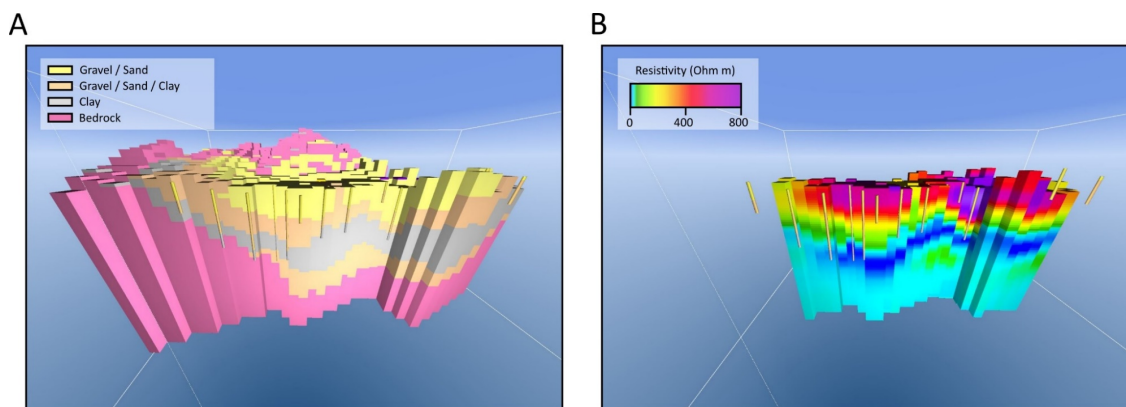
Lager	Kod enligt SGUs ramverk	Beskrivning	Kommentar
Vatten	VATTEN	Vatten i sjöar Mellan Y7 och Y6	Inga vattendjupsdata används, antas att vattendjup ökar från stranden till ett max av ungefär 8 m.
L0	1_GSED_L_1	Glacial lera (klass 3) Mellan Y6 och Y5	
L1A	1_ISALV_S-G_1	Isälvsediment, grovkornig homogen sand / grus (klass 1) Mellan Y5 och Y4	
L1B	1_KOMPLEX_L-G_1	Isälvsediment, mest grovkornig, heterogen sand / grus / lera (klass 2) Mellan Y4 och Y3	
L2	1_GSED_L_2	Glacial lera (klass 3) Mellan Y3 och Y2	
L3	1_KOMPLEX_L-G_2	Isälvsediment, mest grovkornig, heterogen sand / grus / lera (klass 2) Mellan Y2 och Y1	
Berg	URBERG	Urberg från jordartskartan	

En beskrivning av de olika lagren i modellen finns i tabell 1. Kartor över jordlagrens utbredning och mäktighet finns i bilaga 1.

Geologisk voxelmodell

En voxelmodell över jordarterna har också tagits fram (fig. 2). Den har en cellstorlek av $50 \times 50 \times 2$ m i X-, Y- och Z- led. Voxelmodellen består av 5 klasser. I den här modellen baseras jordartsklassningen på lagermodellen, men också, när det finns tillgängligt, på resistivitetsmodellen (från tTEM-data). Klass 1, 2 och 3 motsvarar de klasser av jordarter som anges i avsnittet *Jordartsmodell*. Klass 4 och 5 betyder berg respektive vatten. Observera att den ytmässiga täckningen för voxelmodellen är mindre än för lagermodellen (fig. 1).

Jordarternas resistivitet i 3D från tTEM-mätningarna är ett av underlagen till den geologiska modellen. Koordinatsystem är SWEREF99TM och både voxelmodellen och lagermodellen har axlar parallella med X och Y i detta koordinatsystem. De båda modellerna visas i figur 5.



Figur 5. Geologisk voxelmodell och resistivitetsmodell.

REFERENSER

- Auken, E., Foged, N., Larsen, J.J., Lassen, K.V.T., Maurya, P.K., Dath, S.M. & Eiskjær, T.T., 2019: tTEM – A towed transient electromagnetic-system for detailed 3D imaging of the top 70 meters of the subsurface. *Geophysics* 84. 1–37.
- Lång, L.-O. & Persson, T., 2011: Beskrivning till kartan Grundvattenförekomster i Lerums kommun. *Sveriges geologiska undersökning K 134*, 28 s.
- Nordqvist, R., Onkenhout, J., Marek, R. & Carlsson, C., 2006: *Kompletterande geologiska och hydrogeologiska undersökningar i Gråbodeltat*. Rapport, Geosigma AB, 39 s.