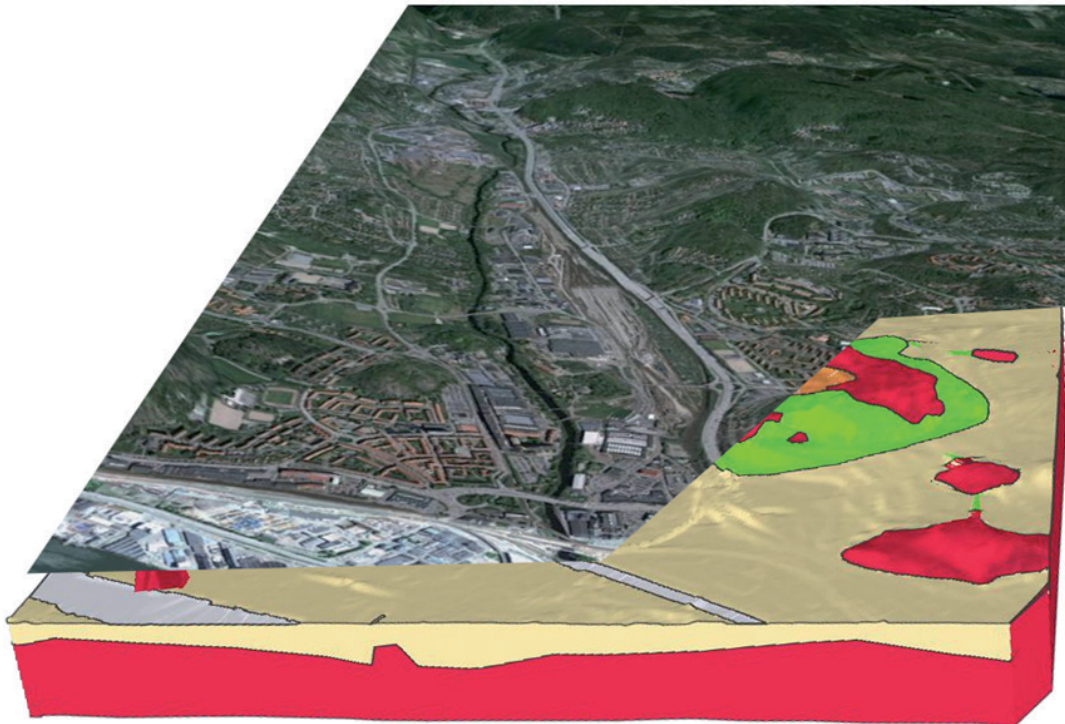


Tredimensionella jordartsmodeller – programvara och metoder

Gustaf Peterson, Eva Jirner,
Cecilia Karlsson & Mats Engdahl

september 2014

SGU-rapport 2014:33



SGU

Sveriges geologiska undersökning
Geological Survey of Sweden

Omslagsbild: Lantmäteriets ortofoto över Gamle-
staden i Göteborg placerat över en tredimensionell
jordartsmodell.

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

INNEHÅLL

Sammanfattning	4
Inledning	5
Bakgrund	6
Data	7
Jordlagerföljder	7
Hydrogeologiska parameterdatabasen	7
Brunnsarkivet	7
Geofysik	7
Jordartskartan	7
Höjddata	8
Jorddjupsmodellen	8
Metod	8
Dataformat	8
Stratigrafi	8
Djupdata i punktform	10
Djupdata i rasterformat	10
Jordartskartan	11
Höjdmodell och jorddjupsmodell	11
Arbetsgång	11
Tredimensionella jordartskartor	13
Säveåns mynning i Götaälv	13
Mjällåns dalgång	14
Leverans av data	16
Slutsatser	16
Referenser	18

SAMMANFATTNING

Sveriges geologiska undersökning (SGU) har sedan grundandet undersökt, dokumenterat och informerat om Sveriges geologi, bland annat genom kartproduktion. Detta har resulterat i en stor mängd arkiverade data, både digitala och analoga. Kartorna som framställts presenteras traditionellt i två dimensioner, som ett kartblad. Syftet med en geologisk karta är att beskriva jordlagren och bergets uppbyggnad i ett område, alltså även på djupet, en tredje dimension. Geologer är vana att tolka de processer som ligger bakom den geologiska uppbyggnaden och kan därför förstå den tredje dimensionen i ett geologiskt kartblad. Denna förståelse vill SGU förmedla till allmänheten. Tredimensionella jordartskartor kan förtydliga den geologiska tolkningen och göra den enklare att förstå. Ny teknik möjliggör framställning av tredimensionella kartor. Med lagerföljder, höjddata och geologiska kartor från vårt arkiv, är det möjligt att skapa en tredimensionell produkt. Förutom att beskriva geologin för allmänheten kan dessa produkter även användas till andra ändamål, såsom hydrologiska modeller, skredriskanalyser eller andra tematiska produkter.

SGU har under den senaste tiden arbetat med att utveckla ett arbetssätt för att kunna producera tredimensionella jordartskartor från data ur våra arkiv. Vi har valt att arbeta med programvaran och metoden GSI3D (*Geological Surveying and Investigation in 3 Dimensions*). Här förklarar vi hur arbetet går till, från tvådimensionella data till en tredimensionell modell, genom att beskriva arbetet med två modeller; Mjällåns södra dalgång och Sävveåns utmynning i Göta älv.

INLEDNING

Geologisk information är ett viktigt underlag för att fatta väl grundade beslut inom samhällsplaneringen. Detta stödjer Sveriges geologiska undersökning (SGU) genom att vi samlar in och tillhandahåller geologisk grundinformation och expertbedömningar. Mottagare är olika aktörer som kommuner, länsstyrelser, universitet, företag och myndigheter. Informationen används för fysisk planering, anläggningsarbeten, dricksvattenförsörjning, miljöfrågor, inom geovetenskaplig forskning och som underlag för beslut enligt olika författningar. En av de viktigaste produkter som SGU utvecklar och tillhandahåller är geologiska kartor, som är ett effektivt sätt att samla rumslig geovetenskaplig information.

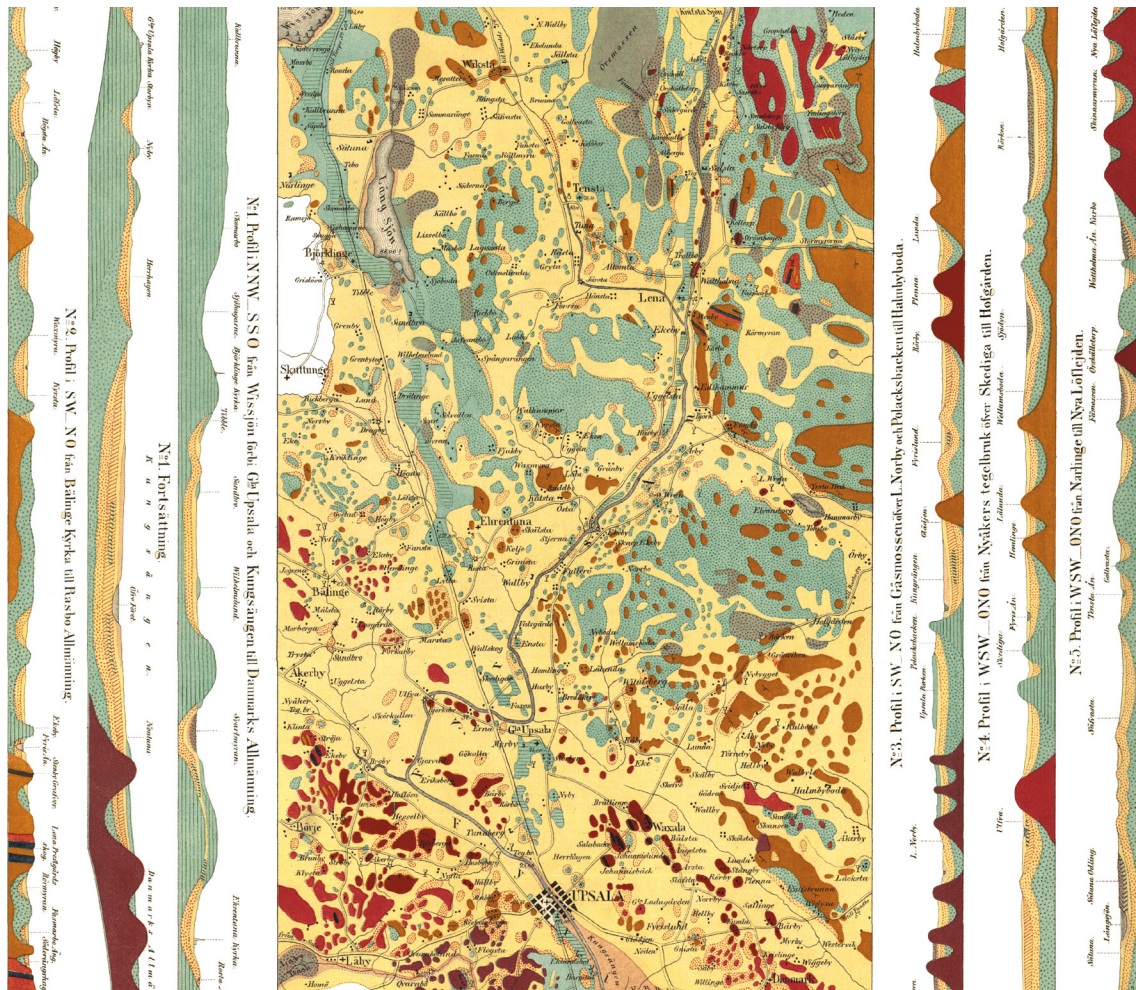
Den första kända geologiska kartan framställdes i det forna Egypten under Ramses IVs regeringstid (ca 1150 f.Kr.) och uppvisar lokaler med ädla metaller och byggnadsmaterial. Men det var först närmare 3 000 år senare som geologisk undersökningsverksamhet tog fart (Bagrow 2009). Under den industriella revolutionen, på 1700- och 1800-talen, ställdes krav från bland annat lantbruket, gruvindustrin och samhällsplaneringen, angående information om markens uppbyggnad. Lösningen var detaljerad geologisk information, ofta i form av kartor.

Ett svar på dessa krav var William Smiths geologiska karta över England, Wales och delar av Skottland från 1815. Ett något senare, svenskt exempel är den geologiska kartan över Fyrisåns dalbäcken som utarbetades av Axel Erdmann år 1856 (fig. 1). Erdmann var även SGUs grundare och förste chef.

Geologiska kartor innehåller mycket information och kan uppfattas som komplicerad av många användare. En geolog är utbildad att tolka denna typ av information. Därför försökte redan Smith och Erdmann visualisera geologins utbredning under markytan. Båda dessa kartor har, vilket är extra tydligt på Erdmanns karta, en eller flera tvärprofiler (sektioner) genom marken (stratigrafin, fig. 1). Kartan ritades alltså i två dimensioner men för att skapa en kartprodukt som visar de geologiska enheternas utbredning även på djupet, kompletterades den med profiler som visar geologin under markytan.

Kartor tillsammans med geologiska profiler har varit standarden för presentation av rumsliga geologiska data sedan dess, men med ny teknik kommer nya möjligheter. I stället för ett stort antal profiler finns nu möjligheten att utveckla tredimensionella modeller av geologin. Dessa modeller visualiserar geologin på ett sätt som är svårt, eller till och med omöjligt att åstadkomma med geologiska kartor och profiler. Förutom visualisering av geovetenskapliga data är denna typ av modeller viktiga inom bland annat hydrogeologi, konstruktion av infrastruktur och bedömning av skredrisk.

Under det senaste året har vi utvecklat ett flertal mindre, tredimensionella modeller (t.ex. Peterson 2012). Två av dessa modeller presenteras som en del av denna rapport, Mjällåns södra dalgång och Sävåns utmyning i Göta älv. Vi beskriver också en standardiserad metod för att utveckla dessa modeller. Vi utgår från data som finns tillgängliga i SGUs digitala arkiv och de möjligheter vi har att leverera dessa produkter till allmänheten.



Figur 1. Utdrag ur Axel Erdmanns geologiska karta över Fyrisåns dalbäcken. Till vänster och höger om kartan syns de geologiska tvärprofilerna som visar geologin på djupet.

BAKGRUND

På SGU har arbetet med tredimensionella modeller i första hand gått ut på att utveckla ett fungerande arbetsätt. Som en del i arbetet har vi valt att arbeta med GSI3D (*Geological Surveying and Investigation in 3 Dimensions*), en metod och programvara utarbetad av Hans-Georg Sobish tillsammans med Storbritanniens geologiska undersökning (BGS, Kessler m.fl. 2009). Inom den berggrundsgeologiska verksamheten vid SGU används till stor del programvaran GOCAD vid arbete med geologiska tredimensionella modeller. GSI3D har utvecklats för att skapa modeller av jordarter och sedimentär berggrund även när mängden data är relativt liten, något som är ett ofta förekommande problem när endast redan befintliga data används i modellerna. Programvaran låter geologen, med sina kunskaper och erfarenheter från området, styra byggandet av modellen genom att tolka profiler mellan datapunkterna, i stället för en direkt interpolation.

GSI3D har använts framgångsrikt i ett flertal geovetenskapliga undersökningar, bland annat inom hydrogeologi, underjordsarbeten, visualisering och grundforskning. Ett exempel på en hydrogeologisk tillämpning är möjligheten att uppskatta akvifärens mäktighet och utbredning samt mäktigheten av överliggande tätande eller genomsläppliga lager, som är viktiga uppgifter vid analys av akvifärens känslighet för föroreningar (Seymour & Shepley 2008, Marchant 2013).

Vidare är dessa modeller bra indata i numeriska och konceptuella hydrologiska modeller (Kessler & Mathers 2007, Mathers m.fl. 2012). Inom samhällsplaneringen har modeller utarbetade i GSI3D använts som basdata vid underjordsarbeten, till exempel vid tunnelbyggande i London (Aldiss m.fl. 2012). GSI3D har också använts i glacialgeologiska projekt för att beskriva bildning och bildningshastighet av glaciala sediment (Finlayson 2012).

Ett av de absolut viktigaste användningsområdena är ändå den pedagogiska möjligheten att visualisera geologi för icke-geologer. Den geologiska kartan innehåller en komplex samling data och dess fulla potential kan vara svår att förstå. Tredimensionella modeller gör det enklare att förstå geologin i ett område.

DATA

För att skapa en tredimensionell modell över jordarter i GSI3D behövs tre former av indata: djupuppgifter i form av loggar, borrhål eller geofysik, en höjdmodell över området och jordartskartan. I SGUs digitala arkiv finns ett stort urval av djupdata och kartmaterial. Tillsammans med Lantmäteriets nationella höjdmodell är detta en bra bas för modelleringsarbete. Djupdata består av tre databaser: jordlagerföljder, hydrogeologiska parameterdatabasen och Brunnsarkivet. Som kartmaterial är jordartskartan en viktig del i modelleringsarbetet. Utöver den är SGUs jorddjupsmodell användbar i områden med låg densitet av djupdata (Daniels & Thunholm 2014).

Jordlagerföljder

Databasen över jordlagerföljder innehåller ca 39 000 uppgifter om jorddjup, jordlagrens mäktighet och karaktäristiska egenskaper, t.ex. bildningssätt och kornstorlek. Databasen består av data insamlade under jordartsgeologiskt fältarbete och utgör detaljerad information om lagerföljder, t.ex. sedimentloggar. I lagerföljdsdatabasen finns också geoteknisk djupinformation som samlats in från olika infrastrukturella byggprojekt. Informationen är detaljerad men når sällan stora djup, ofta täcker de bara de översta metrarna av jordlagren.

Hydrogeologiska parameterdatabasen

I denna databas finns information om 19 000 av SGUs egna borrhningar, djupinformation insamlad under grundvattenundersökningar, inventeringar av grävda brunnar och borrhningar eller sonderingar från konsultrapporter i samband med grundvattenutredningar. För 6 000 av dessa finns lagerföljdsuppgifter. Dessutom finns resultat från 13 000 grundvattennivåmätningar i databasen.

Brunnsarkivet

Brunnsarkivet är databasen över brunnar i Sverige och innehåller data om drygt 500 000 brunnars tekniska utformning, djup, vattenkapacitet, grundvattennivå, geografiska läge och jorddjup samt uppgifter om lagerföljd. Uppgifterna gäller främst bergborrade brunnar och utgörs av de uppgifter som brunnsborrhare sedan 1976 enligt lag måste skicka in till SGU.

Geofysik

Under många av SGUs undersökningar samlas geofysiska data in. De typer som är av nytta för modellutvecklingen är i första hand georadar och seismik.

Jordartskartan

SGU har ett flertal olika typer av jordartsdatabaser, från skala 1:25 000 till 1:1 miljon. Utvecklandet av tredimensionella jordartsmodeller kräver hög detaljrikedom. Underlaget som används

vid utvecklandet av 3D-modeller bör ha skala 1:50 000 eller större, även om mindre skalor, som 1:100 000 kan fungera bra vid utvecklandet av modeller med mindre detaljrikedom. De mest detaljerade jordartsdatabaserna ger information om jordarternas utbredning, uppbyggnad och egenskaper, samt förekomsten av block i markytan. Insamlingen grundar sig på omfattande fältarbete, kompletterad med fjärranalys och provtagning och har pågått sedan 1960-talet.

Höjddata

Regeringen har gett Lantmäteriet i uppdrag att framställa en nationell höjdmodell (NH) med hög noggrannhet. Modellen framställs med flygburen laserskanning, också kallad LiDAR (*Light Detection and Ranging*). Slutprodukten är ett data-grid med upplösningen två meter (Lantmäteriet 2010). I höjddled anses noggrannheten vara bättre än 0,1 m och i planet bättre än 0,5 m. I områden med starkt sluttande terräng eller tät skog kan noggrannheten i höjddled dock bli betydligt sämre (Lantmäteriet 2010). I och med att gränserna mellan två jordarter visar när jordartsgränsen bryter markytan är det möjligt, med hjälp av NH, att få höjdvärden i gränsen mellan två jordarter.

Jorddjupsmodellen

Jorddjupsmodellen (Daniels & Thunholm 2014) ger en generell bild av jordtäckets mäktighet. Modellen grundas på analys av jorddjupsinformation från brunnborrningar, undersökningsborrningar, schakt och seismiska undersökningar. För att identifiera områden där jordtäcket är mycket tunt eller saknas helt, har information om berg från SGUs jordartskartor använts. Jorddjupet har beräknats genom interpolering av kända jorddjupsdata. Eftersom vissa jordarter uppvisar betydligt större jorddjup än andra har jordartskartan använts som stöd vid denna interpolering. Information om sprickzoner i berggrunden har använts för att ta fram områden med speciellt stora jorddjup. Osäkerheten i beräkningarna ökar med avståndet till punkter med uppmätta jorddjup. Om avståndet exempelvis är flera hundra meter till närmaste observation är osäkerheten i det beräknade jorddjupet betydande. Jorddjupsmodellen är ett bra komplement till annan djupinformation och ger en övergripande bild av bergytan.

METOD

Arbetsgången vid utvecklingen av tredimensionella jordartsmodeller i GSI3D består av tre delar: definiering av den lokala jordlagerföljden (stratigrafin), tolkning av profiler genom jordlagerföljden samt tolkning av jordarters verkliga utbredning och beräkning av blockmodell.

I det första steget ingår insamlingen av data och att göra dem kompatibla med GSI3D. Detta kan göras antingen manuellt eller automatiskt via script. Dock kräver mycket av djupinformationen, speciellt i databaser med lägre stratigrafiska kvalitetskrav, manuella justeringar och den automatiserade konverteringen ger således ingen större tidsvinst.

Dataformat

Nedan beskrivs de dataformat som används vid import av geologisk information och höjd- och djupmodeller i GSI3D.

Stratigrafi

Ryggraden i ett GSI3D-projekt är filen som beskriver områdets generella stratigrafi, GVS-filen (tabell 1). GVS-filen är en textfil som beskriver ordningen av jordarter från yngst till äldst samt, vid behov, möjligheten att lägga till linser i stratigrafin. Textfilen, en tab-separerad ASCII-fil med ändelsen .gvs, måste innehålla följande kolumner: namn, id och stratigrafi. Det finns möjlighet att lägga till fler beskrivande kolumner vid behov.

Tabell 1. Exempel på strukturen i GVS-filen.

Namn	id	Stratigrafi
vatten	10	vatten
torv	20	torv
alv	30	alv
svall	35	svall
kohesion	40	kohesion
isalv	50	isalv
moran	60	moran
berg	70	berg

Tabell 2. Exempel på strukturen i GLEG-filen.

Stratigrafi	Beskrivning	Röd	Grön	Blå	Transparens	Texturlänk
vatten	vatten	255	255	255	255	\TEXTURES\vatten.jpg
torv	torv	217	191	158	255	\TEXTURES\torv.jpg
alv	alv	255	128	51	255	\TEXTURES\svall.jpg
svall	svall	243	149	63	255	\TEXTURES\svall.jpg
kohesion	kohesion	255	236	163	255	\TEXTURES\kohesion.jpg
isalv	isalv	128	255	38	255	\TEXTURES\isalv.jpg
moran	moran	217	247	255	255	\TEXTURES\moran.jpg
berg	berg	230	25	51	255	\TEXTURES\berg.jpg

- *Namn* innehåller det unika namnet på varje enhet och ska anges i stratigrafisk ordning.
- *id* är ett unikt id för varje enhet, de övre enheterna har låga värden och djupt liggande enheter har höga värden.
- *Stratigrafi* används för att koppla stratigrafin till teckenförklaringsfilen (GLEG) och behöver inte vara unik.

Teckenförklaring

För att beskriva hur de olika enheterna ska visas används GLEG-filen. Filen är en tab-separerad ASCII-fil bestående av sju kolumner: stratigrafi, beskrivning, röd, grön, blå, transparens och texturlänk (tabell 2). Observera att GLEG-filen inte ska innehålla en rad med kolumnnamn (header-rad) utan endast värden.

- *Stratigrafi* är kopplingen till GVS-filen och överensstämmer med Stratigrafi däri.
- *Beskrivning* ger möjlighet att ange en beskrivning i fritext.
- *Röd*, *Grön* och *Blå* anger värden för RGB-färgåtergivning från 0 till 255.
- *Transparens* anger lagrets transparens från 0 till 255 (0 = transparent, 255 = opak).
- *Texturlänk* är inte obligatorisk men innehåller länkar till bildfiler, om sådana önskas i stället för enbart färger.

Djupdata i punktform

För att importera olika former av djupdata används två olika tab-separerade ASCII-filer, BID och BLG. Varje punkts unika id-nummer, koordinater och starthöjd anges i BID-filens fyra kolumner (tabell 3). Observera att BID- och BLG-filerna inte ska innehålla en rad med kolumnnamn.

Tabell 3. Exempel på strukturen i BID-filen.

Djupdata-id	Easting	Northing	Höjd
177400619	623873	6946869	77
177400661	622855	6941156	41
177400686	622906	6940996	38
177400689	623928	6946175	83

Tabell 4. Exempel på strukturen i BLG-filen.

Djupdata-id	Totalt djup till lagerslut	Stratigrafi
BMW102497	1,5	alv
BMW102497	3,5	alv
BMW102497	4,5	alv
BMW102497	17	alv
BMW102497	18	alv
BMW102497	20,5	alv
JNN100056	3	alv
JNN100056	18	kohesion
JNN100057	1,5	kohesion
JNN100057	1,7	isalv
JNN100058	1,5	kohesion
JNN100058	2	isalv
JNN100059	5	isalv
KGS102001	1	alv
KGS102001	3	alv
KGS102001	5	kohesion

- *Djupdata-id* är ett unikt id för djupdatapunkten.
- *Easting* och *Northing* innehåller projicerade koordinater i samma system som övriga data.
- *Höjd* är höjden över havet vid marknivå.

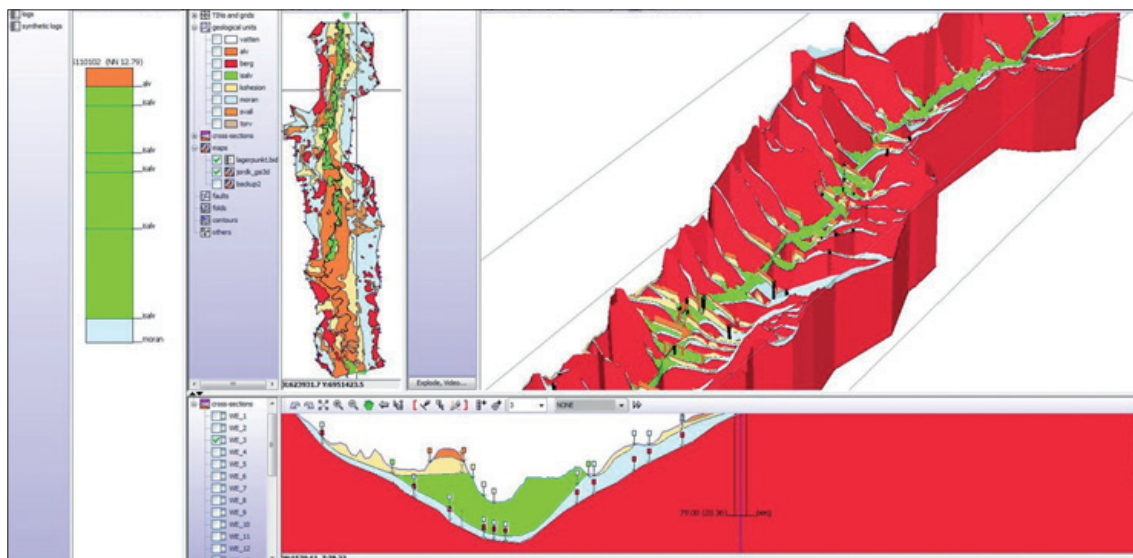
Positionen för varje enskild djupdatapunkt finns alltså i BID-filen. Information om stratigrafin finns istället i BLG-filen (tabell 4). I filen anges det unika id-numret för punkten, djupet från markytan till lagrets slut och en koppling till GVS-filen. Utöver dessa kolumner är det möjligt att lägga till ytterligare information, till exempel genes, kornstorlek, genomsläpplighet och ålder.

Djupdata i rasterformat

Höjddjusterade data från seismik och georadar samt fotografier eller skisser av skärningar kan importeras i GSI3D som bildfiler. En profil behöver skapas som följer den linje där mätningarna utförts. Efter det kan bilden importeras, skalas och dras på plats för att användas i tolkningen.

Jordartskartan

Polygoner och linjer importeras till GSI3D i vektorformat som ESRI shapefiler. Polygonerna behöver klassas om så att de överensstämmer med den stratigrafiska modell som används under modellutvecklingen. Utöver detta behöver attributtabeln i shapefilen innehålla en kolumn som kan kopplas till GVS-filens "Stratigrafi"-kolumn.



Figur 2. Gränssnittet i GSI3D. Medsols från vänster: djupdatainformation, jordartskarta, 3D-fönster och profils-fönstret.

Höjdmodell och jorddjupsmodell

Höjdmodeller importeras till GSI3D som ASCII GRID-filer. GSI3D har begränsningar rörande storleken på GRID-filer vilket betyder att högupplösta höjddata, såsom Nationella höjdmodellen (NH), kan behöva förenklas och ges lägre upplösning. Samma tillvägagångssätt gäller vid import av jorddjupsmodellen.

Arbetsgång

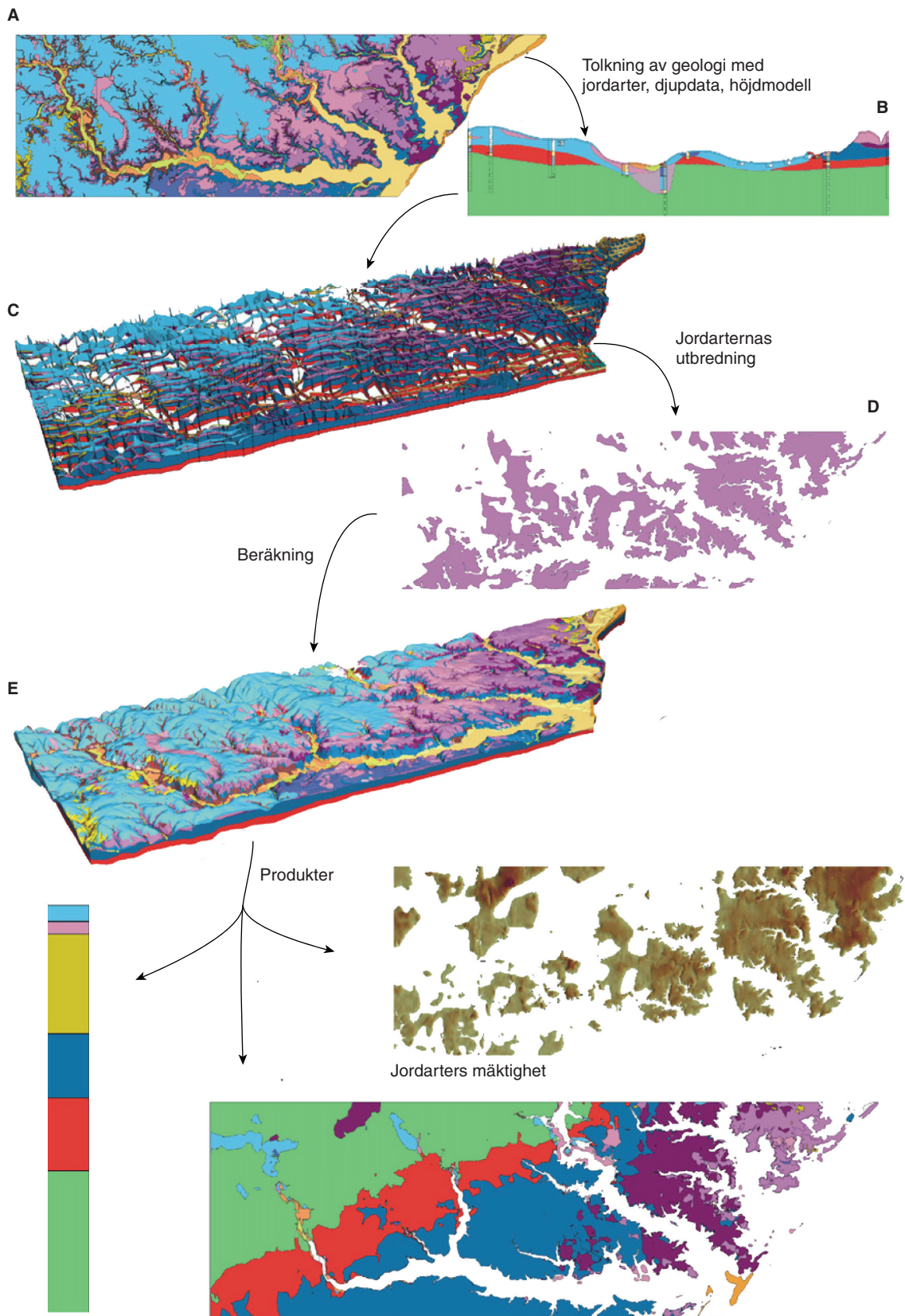
Insamlade data i rätt format importeras i GSI3D och presenteras visuellt i ett grafiskt användargränssnitt med ett fönster för djupdata, profiler, kartdata och 3D (fig. 2).

Efter import av jordartskartan och djupdata (fig. 3A) ritas ett flertal profiler genom området (fig. 3B). Deras sträckning baseras på var djupdatapunkter finns men det finns också möjlighet att styra dem genom områden utan data. När profilernas sträckning är bestämd, tolkas geologin utifrån den generella stratigrafiska modellen över området, djupdata samt jordartskartan. Jordartskartan projiceras på profilernas överytor och tillsammans med höjdmodellen ger den viktig information till tolkningen. Profilmomentet är arbetskrävande och kräver att geologen som utför arbetet har god kunskap om områdets geologi. Beroende på kvalitet och kvantitet på indata skapas en lämplig mängd profiler som sammanförs i ett fencediagram (fig. 3C).

När tolkningen av profiler är klar behöver jordartskartan ritas om för att visa jordarternas verkliga utbredning istället för att endast visa jordarterna i markytan (fig. 3D). Detta kan utföras i GSI3D eller externt i en GIS-miljö (t.ex. ArcGIS). När ovanstående fyra steg är avklarade beräknas en blockmodell (fig. 3E). Modellen är inte statisk. Det finns också möjlighet att justera, omarbota eller utveckla modellen ytterligare. Till exempel kan den enkelt uppdateras när ytterligare data blir tillgängliga.

TREDIMENSIONELLA JORDARTSKARTOR

Som en del i att beskriva hur vi arbetar med tredimensionella jordartsmodeller på SGU presenterar vi här två exempel, ett över Sävans mynning i Göta älv och ett över de södra delarna av Mjällåns dalgång (fig. 4).



Figur 3. Arbetsgången i GIS3D (A–E). Exempel från Sudbury–Ipswich–Felixstowe i Storbritannien, modifierad från Kessler & Mathers (2009).

Säveåns mynning i Götaälv

Området är beläget vid Gamlestaden i Göteborg, där Säveåns och Göta älvs dalgångar möts. Marken är relativt flack runt vattendragen och ligger ca 5 m ö.h. Efter att inlandsisen lämnade området för ca 12 600 år sedan har området närmast vattendragen varit täckt av hav till för ca 2 000 år sedan. I norr och söder finns höjdområden. Området är knappt 5 km².

Lera är den dominerande jordarten i Gamlestaden och lerlagerföljden kan delas in i post-glacial lera överst och därunder glacial lera. Eftersom stora delar av området är bebyggt är leran delvis täckt av fyllnadsmassor. Närmast under fyllnadsmassorna längs Göta älv finns ställvis svämsediment. Svämsediment är vanligen ofullständigt sorterade och uppblandade med organiskt material. Höjdområdena, i norra och södra delen av området, består av berg i dagen. Runt bergen finns morän, grus och sand.

Genom området, i riktning norr–söder, finns en distinkt israndbildning, den så kallade Göteborgsmoränen. Randbildningen bildades i samband med att inlandsisen lämnade området. Den utgörs av en mer eller mindre sammanhängande ryggformad avlagring. Göteborgsmoränen kan innehålla både morän och isälvssediment och är överlagrad av lera i dalgångarna. Mitt ute i det flacka området påträffas Göteborgsmoränen i markytan på ett ställe.

Göteborgsmoränen, vilken till stora delar antas bestå av isälvsmaterial, är en möjlig grundvattenresurs som går rakt igenom området kring Gamlestaden. Denna del av Göteborgsmoränen har vid SGUs hydrogeologiska undersökningar bedömts ha mycket goda eller utmärkta uttagsmöjligheter, däremot är utbredningen mindre känd (Lång 2009). Vi valde därför det här området som testområde för att närmare uppskatta mäktigheterna och utbredningen av friktionsjord under glacial och postglacial lera och svämsediment.

Metod

Som ett första steg utarbetades en förenklad lagerföljd (tabell 5). I första hand har den stratigrafiska modell som använts i arbetet ingen genes utan delas in utifrån kornstorleksklasser. Ett trettiotal djupdatapunkter importerades och användes för att skapa profiler. Mängden lagerföljder i området är begränsad och därför har jorddjupsmodellen också använts som stöd i arbetet. Tolkning av 26 profiler, anslutna till befintliga djupdatapunkter, utfördes i området (fig. 5).

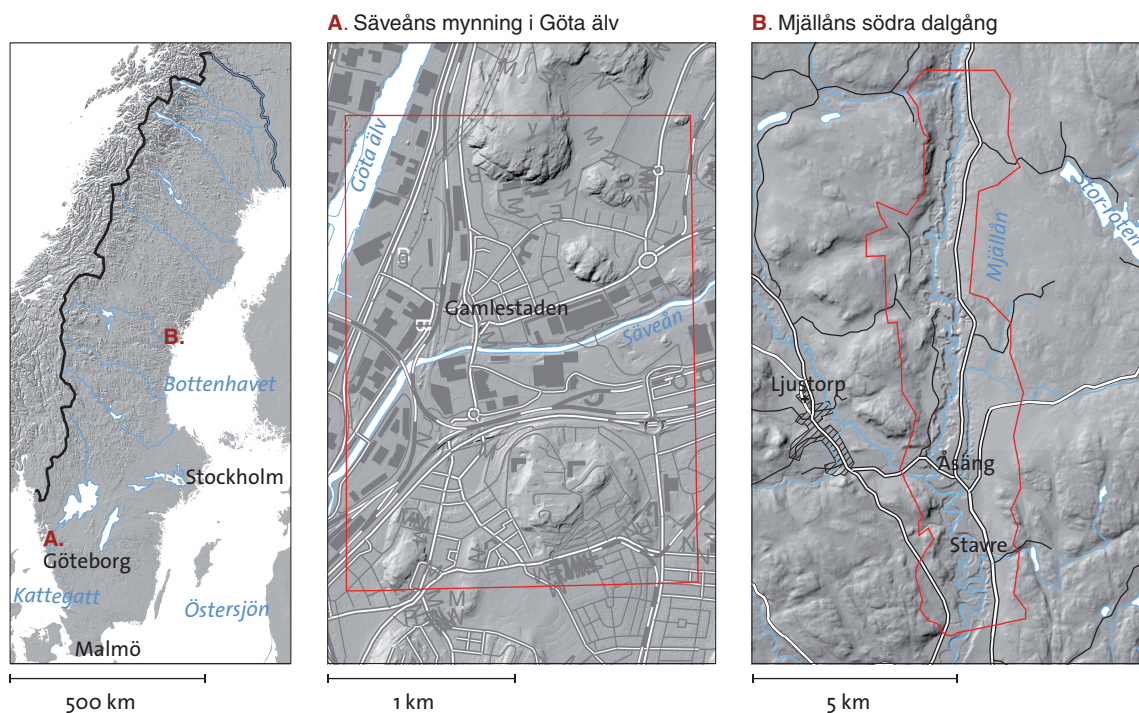
Resultat

Resultatet från arbetet med en 3D-modell över Säveåns mynning i Göta älv presenteras som en blockmodell i figur 6. I jordartskartan, och även på ovansidan av den kompletta 3D-modellen, syns endast ett fåtal områden med friktionsjord. Använder man den jordartsgeologiska 3D-modellen för att lyfta av material som täcker friktionsjorden, syns det tydligt att det finns stora områden med friktionsmaterial under leran. Tolkningen som gjorts i modellen visar att friktionsjorden endast täcker de centrala delarna av området, med mäktigheter upp till 111 m, och att det i befintlig djupinformation inte finns uppgifter om friktionsjord i de nordvästra delarna, ut mot Göta älv. Modellen ger en tydlig bild av de grundvattenresurser som finns och är därför ett viktigt pedagogiskt verktyg för att sprida information till politiker, beslutsfattare och allmänhet.

Mjällåns dalgång

Mjällåns dalgång sträcker sig i nord–sydlig riktning från Graningesjön i norr och söderut, för att slutligen ansluta till Indalsälven vid Bergeforsen, norr om Timrå. Den pågående jordartskartläggningen i dalgången har bl.a. som syfte att undersöka grundvattenförande jordlager, såsom isälvsmaterial.

Under kartläggningens gång har det visat sig att isälvsmaterialet har en större utbredning än man tidigare trott. Detta material skulle kunna utgöra en betydande grundvattenförekomst



Figur 4. **Vänster:** Testområdenas lokalisering. A = Sæveåns mynning i Göta älv och B = Mjällåns södra dalgång. **Mitten:** Karta över område A med NH som underlag. **Höger:** Karta över område B med NH som underlag.

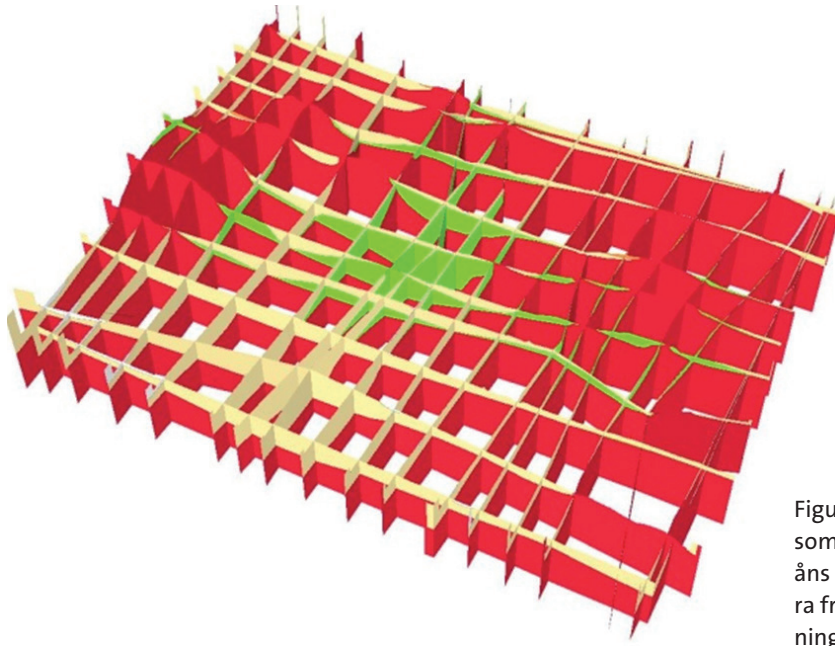
Tabell 5. Jordartskartans enheter och den klassificering som använts i den tredimensionella jordartsmodellen över Sæveåns mynning i Göta älv. I kolumnen Teckenförklaring visas de färger som representerar respektive jordart i figur 6 och 7. I figurerna varierar nyanserna till följd av terrängskuggningen.

Jordartskartans enheter	3D-modell	Teckenförklaring
Postglacial finsand	Sand	Orange
Postglacial sand		Orange
Postglacial finlera	Lera	Yellow
Glacial finlera		Yellow
Morän, omväxlande med sorterade sediment	Friktionsjord	Green
Urberg	Berg	Red

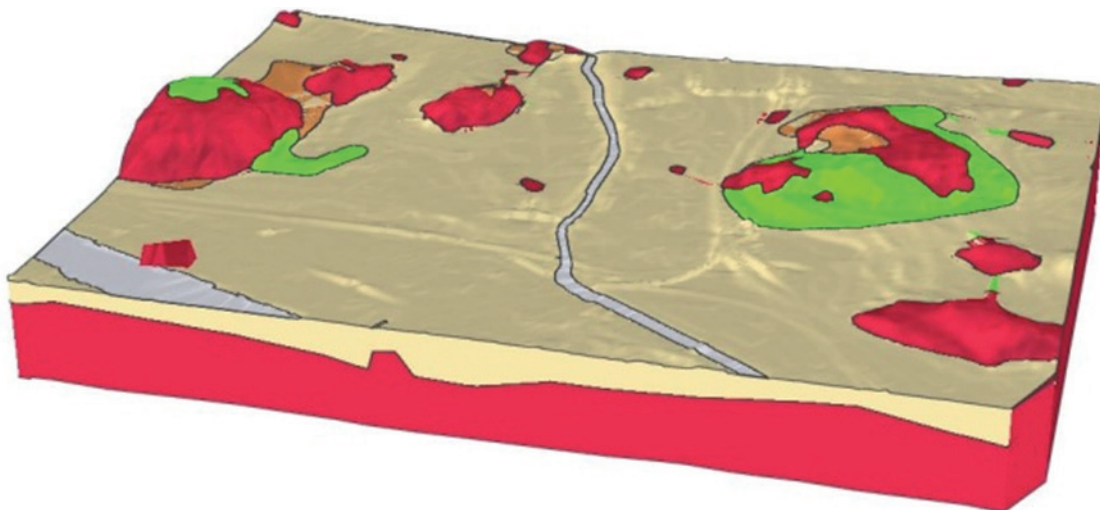
men är svår att åskådliggöra med en vanlig jordartsgeologisk karta eftersom den är inbäddad i mäktiga postglaciala sediment. Däremot kan en 3D-modell över dalgången på ett bra sätt belysa isälvsavlagringens mäktighet och potential. Denna 3D-modell omfattar den södra delen av dalgången närmast Timrå, och omfattar knappt 33 km².

Metod

Vid starten av arbetet med 3D-modellen över Mjällåns dalgång gjordes en förenkling av jordartskartans enheter (tabell 6). I förenklingen har främst jordartsklasser med samma genes men olika kornstorlek slagits samman. 3D-modellen bygger till stora delar på den geologiska tolkningen av dalgångens utveckling, med stöd av 128 lagerföljdsuppgifter från jordartskarteringen



Figur 5. 3D-vy över de 26 profiler som tolkats i området kring Sävåns mynning i Göta älv. Observera friktionsjordens (grön) utbredning.



Figur 6. 3D-vy över den blockmodell som utvecklats över jordarterna i området kring Sävåns mynning i Göta älv.

och borrhningar samt jorrdjupsmodellen (fig. 7). Eftersom borrhningarna som utförts i dalgången inte har nått berggrunden är bergets läge i dalgången helt beroende av jorrdjupsmodellen. Höjd-områdena runt om dalgången består till stora delar av morän och berg men även svallsediment förekommer. Det finns inga säkra uppgifter på hur mäktig moränen är under isälvsaterialet i dalgången. Under modelleringen har det antagits att det finns ett mindre lager morän över hela ytan. På många platser överlagras ett tunt lager älvsediment isälvsavlagringen. Detta lager har av tekniska skäl ställvis ignorerats i 3D-modellen.

Finsedimentet (kohesion) har tolkats som avsatt i en övergång mellan det glaciala och det post-glaciala stadiet när dalgången utvecklats till en fjord och består till största del av silt. Sedimentet har därför inte fått någon specifik genes utan enbart benämnts kohesion i modellen. Finsedimen-

tets stratigrafiska placering mellan sand och grus med glaciofluvialt ursprung och de postglaciala älsedimentens sand och grus är central i tolkningen av området. Placeringen har gjort det möjligt att skilja på två jordarter som ofta haft liknande kornstorlek men helt skilda genes.

Resultat

Den nya tolkningen av områdets utveckling består i att dalgången vid isälvs smältningen fylldes ut av en stor isälvsavlagring (sand och grus) som sedan täcktes av finsediment (främst silt) och till sist älsediment (sand och till viss del grus) i och med landhöjningen. Mjällån har sedan eroderat sig ner i sedimenten och på vissa platser återigen blottat isälvsavlagringen. I och med erosionen har en mängd älvfåror skapats och kvar finns på flera platser höga plintar med erosionsrester. Resultatet i form av den beräknade blockmodellen visas i figur 8.

LEVERANS AV DATA

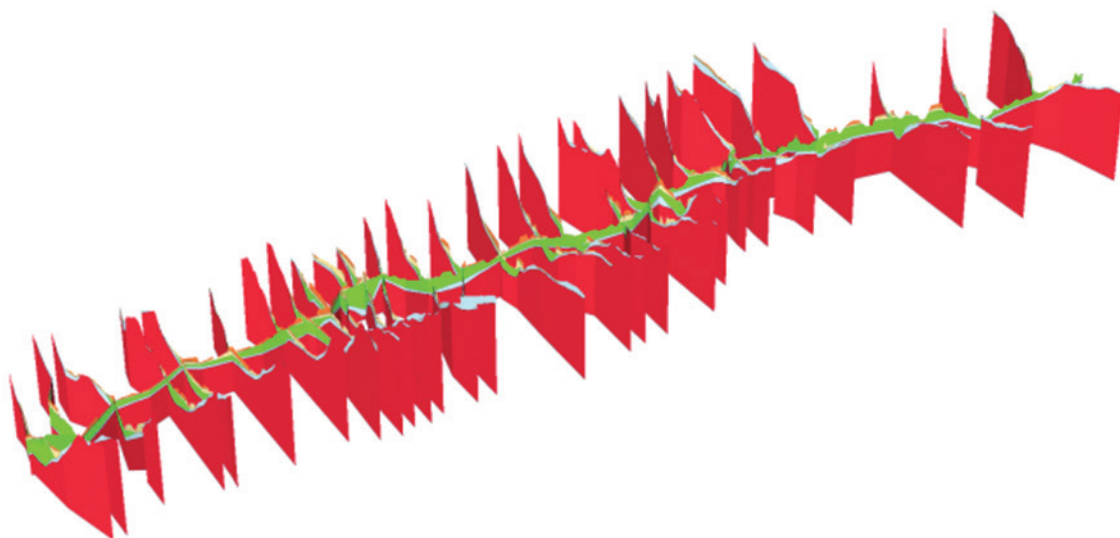
Modeller utvecklade i GSI3D kan levereras i ett flertal olika format, baserade på hur informationen är tänkt att användas. När modellerna ska användas i fortsatta studier av geologin, såsom hydrologiska modeller, är raster som visar lagrets position i höjded eller lagrens mäktighet (ofta benämnda isopack) lämpliga format. Utöver detta finns också möjligheten att leverera data från GSI3D till GIS-programvaror i form av standardformat, till exempel ESRI shape-filer eller ASCII grid. Vidare finns möjligheten att importera och exportera 3D-objekt mellan GOCAD och GSI3D i form av Tsurf-filer. Det enskilt största användningsområdet för tredimensionella jordartsmodeller är visualiseringen av geologin i ett område. I detta fall behövs format som är enkla att arbeta med och möjliga att arbeta med på många olika plattformar. Dessa krav motsvaras av 3D-pdf som ger möjlighet att interaktivt visualisera 3D-modeller på alla plattformar som kan läsa pdf-formatet. Detsamma gäller GoogleEarth KML-filer, ett filformat som gör det möjligt att öppna geologiska profiler och modeller i GoogleEarth. För att kunna skapa en 3D-pdf eller KML behöver ytterligare konverteringar göras genom programvaran Safe Software FME (Feature Manipulation Engine).

SLUTSATSER

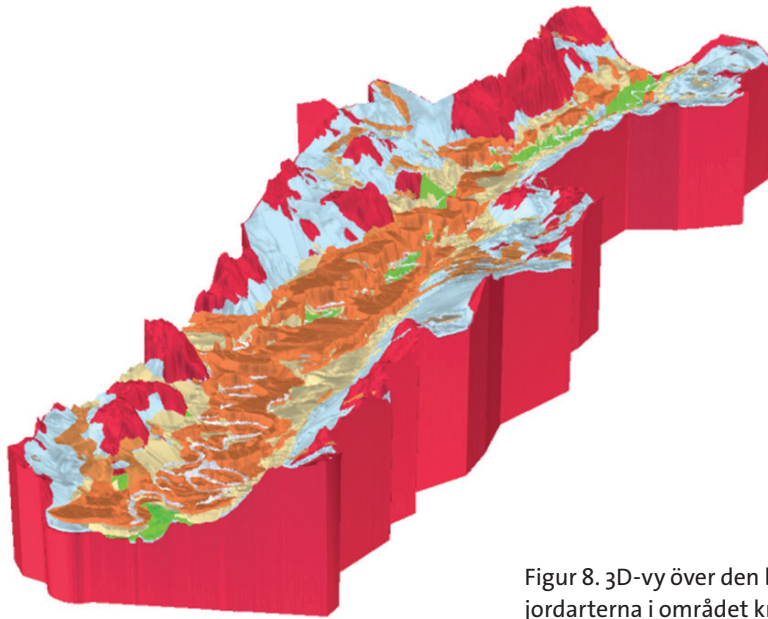
- SGU har valt programvaran och metoden GSI3D som standardverktyg för utvecklandet av jordartsgeologiska 3D-modeller.
- Redan befintliga data, lagrade i SGUs digitala arkiv, kan användas för att utveckla dessa modeller.
- Metoden går ut på att tolka geologin i befintliga data i form av jordartskarta och geologisk djupinformation i form av profiler, uppskatta jordarternas verkliga utbredning för att sedan interpolera en tredimensionell jordartsmodell.
- Modellen kan exporteras i flera olika format för att senare öppnas i GIS-programvaror och numeriska modelleringsverktyg.
- SGU har möjlighet att leverera dessa modeller i format som användare utan specialprogram kan interagera med.
- Utvecklandet av tredimensionella jordartsmodeller bör bli en naturlig del i SGUs reguljära karteringsarbete.

Tabell 6. Jordartskartans enheter och den klassificering som använts i den tredimensionella jordartsmodellen över Mjällåns södra dalgång. I kolumnen Teckenförklaring visas de färger som representerar respektive jordart i figur 8 och 9.

Jordartskartans enheter	3D-modell	Teckenförklaring
Torv	Torv	
Mossetorv		
Kärrtorv		
Svämsediment grovsilt–finsand	Älvsediment	
Svämsediment, sand		
Svämsediment, grus		
Älvsediment, grovsilt–finsand		
Älvsediment, sand		
Älvsediment sten-block		
Postglacial grovsilt–finsand	Svallsediment	
Postglacial sand		
Svallsediment		
Lera–silt	Kohesionsjord	
Silt		
Lera		
Glacial grovsilt–finsand	Isälvsediment	
Isälvsediment		
Isälvsediment, sand		
Morän	Morän	
Berg	Berg	
Urberg		



Figur 7. 3D-vy över de 29 profiler som tolkats i Mjällåns södra dalgångs jordlagerföljder.



Figur 8. 3D-vy över den blockmodell som utvecklats över jordarterna i området kring Mjällåns södra dalgång.

REFERENSER

- Aldiss, D.T., Black, M.G., Entwisle, D.C., Page, D.P. & Terrington, R.L., 2012: Benefits of a 3D geological model for major tunnelling works: an example from Farringdon, east-central London, UK. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 45, 405–414.
- Bagrow, L., 2009: *History of Cartography*. Piscataway, New Jersey, Transaction publishers.
- Daniels, J. & Thunholm, B., 2014: Rikstäckande jorddjupsmodell. *SGU-rapport 2014:14*, 14 s.
- Finlayson, A.G., 2012: Ice dynamics and sediment movement: last glacial cycle, Clyde basin, Scotland. *Journal of Glaciology* 58, 487–500.
- Kessler, H., Mathers, S. & Sobish, H.-G., 2009: The capture and dissemination of integrated 3D geospatial knowledge at the British Geological Survey using GSI3D software and methodology. *Computers & Geosciences* 35, 1311–1321.
- Kessler, H., Mathers, S. & Lelliott, M., 2007: Rigorous 3D geological models as the basis for groundwater modelling. *1 Annual Meeting Geological Society of America. Illinois State Geological Survey*, Denver, Colorado, USA.
- Kessler, H. & Mathers, S.J., 2004: From geological maps to models finally capturing the geologists vision. *Geoscientist* 14, 4–6.
- Lantmäteriet, 2010: *Produktbeskrivning: GSD-Höjddata, grid 2+*. Gävle.
- Lång, L.-O., 2009: Grundvattentillgångar i Göteborgs kommun. *Sveriges geologiska undersökning K109*.
- Marchant, A.P., Banks, V.J., Royse, K.R. & Quigley, S.P., 2013: The development of a GIS methodology to assess the potential for water resource contamination due to new development in the 2012 Olympic Park site, London. *Computers & Geosciences* 51, 206–215.
- Mathers, S., 2012: A model of the Ipswich urban area : geological mapping in 3D. *I Dixon, R. (red.): A celebration of Suffolk geology: GeoSuffolk 10th anniversary volume*. GeoSuffolk, Ipswich, UK, 401–405.
- Peterson, G., 2012: Sedimentologisk studie och tredimensionell modell av en drumlin öster om Billingen. *SGU-rapport 2012:15*, 19 s.
- Seymour, K. & Shepley, M., 2008: Application of BGS 3D modelling to regional groundwater resource studies. *Extended abstracts of the 2nd International GSI3D Conference: British Geological Survey, Keyworth, United Kingdom 2–3 September 2008*.