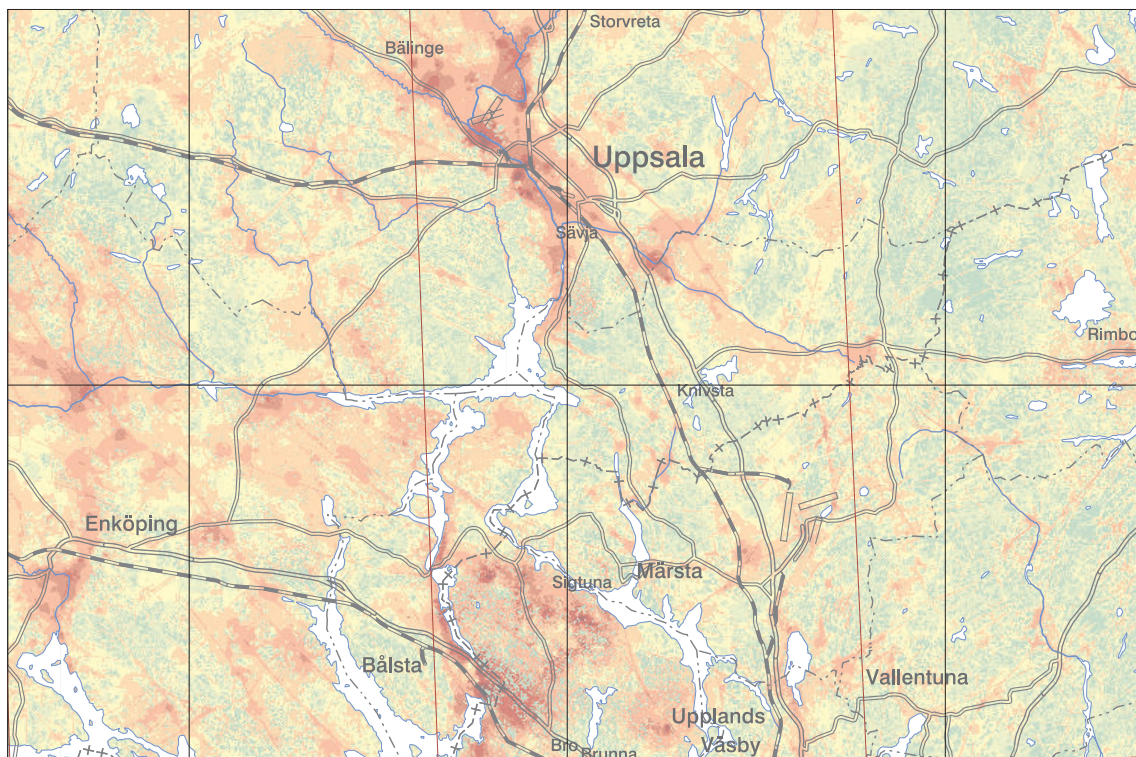


Rikstäckande jorddjupsmodell

Johan Daniels & Bo Thunholm

SGU-rapport 2014:14



SGU

Sveriges geologiska undersökning
Geological Survey of Sweden

Omslagsbild: Utsnitt ur en jorddjupskarta över
Uppsalaområdet, skapad med SGUs Kartgenerator.

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

Förord	4
Sammanfattning	4
Syfte och bakgrund	4
Underlagsmaterial	4
Brunnsarkivet	5
Hydrogeologisk parameterdatabas	5
Jordlagerföljder	6
Seismik	6
Jordartskartor och berggrundskartor	6
Beräkning av jorddjup	6
Egenskaper hos jorddjup	7
Rumslig autokorrelation	7
Jordartsberoende	8
Regionala variationer i jorddjup	10
Jorddjupsmodellen i Uppsalaområdet	11
Felkällor och osäkerheter	11
Validering av jorddjupsmodellen	13
Framtida uppdateringar	14

FÖRORD

Jorrdjupsmodellen har utvecklats av Johan Daniels i samverkan med Bo Thunholm, Tore Påsse, Lars Rodhe och Gustav Sohlenius samt ett flertal andra personer. Arbetet har finansierats av SGUs anslagsmedel.

SAMMANFATTNING

Jorrdjupsmodellen bygger på interpolering av jorrdjupsuppgifter från borrhningar och seismiska sonderingar samt på information om berg i dagen, hämtade från bl.a. jordartskartor. Eftersom det finns generella skillnader i jorddjup mellan områden med olika jordarter har jorrdjupen modellerats separat för olika jordartstyper. Osäkerheten i modellen ökar snabbt med ökat avstånd från observationspunkterna. Om avståndet till närmaste uppmätta jorrdjup är flera hundra meter är osäkerheten oftast betydande.

Modellens noggrannhet beror också på noggrannheten av den jordartskarta som använts vid modelleringen inom respektive område. Jordartskartor i skala 1:50 000, 1:100 000, 1:250 000 och 1:1 000 000 har använts, och modellens noggrannhet varierar i motsvarande grad.

SYFTE OCH BAKGRUND

Syftet med denna rapport är att beskriva hur SGUs rikstäckande jorrdjupsmodell har tagits fram och de viktigaste felkällorna. Rapporten innehåller även en översiktlig statistisk analys av jorrdjupsdata.

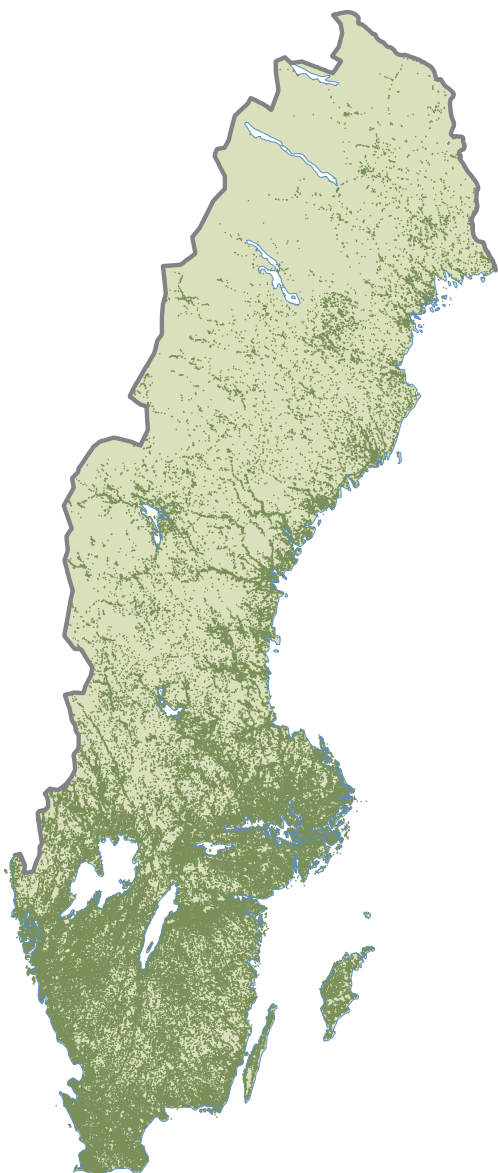
En av de vanligaste frågor som ställs till SGU rör jorrdjupet på olika platser. Jorrdjupet har stor betydelse inom en rad olika områden. Några exempel är planering av olika typer av byggnader, infrastruktur och grundvattenskydd. I en sådan planering ingår bl.a. att finna lämpliga tekniska lösningar och kostnadsberäkningar beroende av jorrdjupet. I många fall vill man undvika stora jorrdjup, till exempel för att undvika höga kostnader i samband med borrhning. I andra fall är stora jorrdjup en fördel, exempelvis för att jordlagren har en stor magasinerande förmåga för grundvatten. Vidare är jorrdjupsdata tillsammans med uppgift om jordart viktiga vid hydrologisk modellering.

UNDERLAGSMATERIAL

Bedömningar och kvantifieringar av jorrdjup finns i flera av SGUs databaser. Data kan beräkningsmässigt delas in i fyra grupper:

1. Jorrdjupsuppgift som anger ett avstånd från markyta till berggrundens övre yta, dvs. ett faktiskt jorrdjup har noterats.
2. Jorrdjupsuppgift som anger ett djup utan att berggrundens övre yta har nåtts, dvs. detta värde anger att det faktiska jorrdjupet är större än det angivna värdet, vilket är typiskt då en borrhning avslutas innan man når till berggrunden.
3. Områden där jorrdjupet är noll eller nära noll representeras av områden där SGUs jordartskartor och berggrundskartor visar berg och tunna jordlager.
4. Information om deformationszoner i berggrunden, vilka generellt antas indikera ett större jorrdjup än i omgivningen.

I jorrdjupsmodelleringen har vi använt uppgifter från ungefär 750 000 punkter (fig. 1) från olika geologiska databaser vilka beskrivs nedan.



Figur 1. Observationer av jorddjup i SGUs databaser som använts i modellen.

Brunnsarkivet

Databasen över brunnar, Brunnsarkivet, innehåller data om brunnars tekniska utformning, djup, vattenkapacitet, grundvattennivå, geografiska lägen och jorddjup samt uppgifter om lagerföljd. Uppgifterna gäller främst bergborrade brunnar och utgörs av de uppgifter som brunnborrare sedan 1976 enligt lag måste skicka in till SGU. Uppgifter om jorddjup från ca 490 000 brunnar har använts, varav ca 480 000 anger djup till berg. Lägesnoggrannheten är varierande. För 20 % av brunnarna är lägesnoggrannheten sämre än 100 m.

Hydrogeologisk parameterdatabas

I den hydrogeologiska parameterdatabasen finns uppgifter som samlats in i samband med SGUs kartläggning av grundvattnet. Databasen innehåller ca 18 000 observationer, bl.a. uppgifter från jordlager i stora sand- och grusavlagringar. I denna modellering har omkring 2 400 jorddjupsuppgifter använts, varav flertalet saknar uppgift om det totala jorddjupet. Lägesnoggrannheten är i regel 50 m eller bättre.

Jordlagerföljder

Databasen över jordlagerföljder innehåller uppgifter om jordlagerföljder, jordlagrens mäktighet och egenskaper. Uppgifterna kommer från SGUs jordartsgeologiska kartläggning samt från ett antal geotekniska undersökningar utförda av andra aktörer. I denna modellering har ca 35 000 jordlagerföljdsuppgifter använts, varav omkring 28 000 saknar uppgift om djup till berg och alltså endast ger ett minimivärde för jorddjupet. Lägesnoggrannheten är i regel 50 m eller bättre.

Seismik

Information från ungefär 1 500 seismiska profiler har omvandlats till totalt ca 32 000 punkter som visar jorddjup. De seismiska undersökningarna har företrädesvis utförts inom sand- och grusavlagringar (isälvs sediment). Lägesnoggrannheten är i regel 50 m eller bättre.

Jordartskartor och berggrundskartor

Jordartskartorna ger information om områden med berg i dagen och med tunna jordtäcken (tunnare än ca 1 m). Även jordartsinformationen har använts i jorddjupsmodelleringen, eftersom det finns ett tydligt samband mellan jordartstyp och jorddjup (se vidare avsnittet Beräkning av jorddjup).

Jordartskartans noggrannhet varierar i landet vilket framgår av figur 2. Information om berg i dagen har också hämtats från berggrundskartor. Denna information överlappar till stor del motsvarande information i jordartskartorna.

Från berggrundskartor har även information om ett stort antal deformationszoner i berggrunden hämtats. Dessa zoner sammanfaller ofta med dalgångar där jorddjupen kan förväntas vara större än i omgivande områden. I vissa delar av landet är denna information mycket översiktlig och i andra områden saknas information helt. Lägesnoggrannheten är varierande.

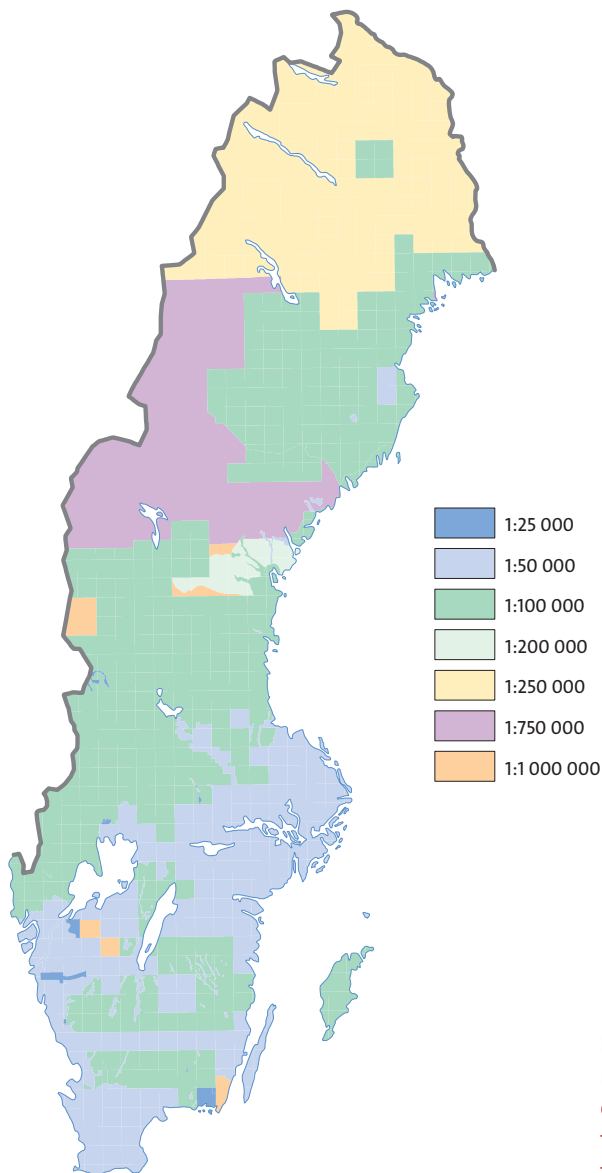
BERÄKNING AV JORDDJUP

Det finns generella skillnader i jorddjup mellan områden med olika jordarter i ytan. Exempelvis har områden med lera i ytan större genomsnittliga jorddjup än områden med morän i ytan. Detta har utnyttjats i modelleringen av jorddjup. Därför modellerades jordartsklasserna lera, morän, isälvsavlagringar, sand och grus separat, vilket innebär att interpoleringar har gjorts mellan jorddjupsuppgifter som ligger inom områden med samma jordartsklass. Inom områden med organisk jordart eller torv har dock jorddjupet interpolerats fram med hjälp av alla närliggande punkter, oavsett jordart. Anledningen till det är att det finns så få jorddjupsuppgifter från områden med organiska jordarter. Inom områden med berg och tunt jordtäckte har jorddjupet satts till noll. Jordarternas geografiska fördelningen hämtades från en förenklad version av jordartskartan (jordartsindelningen framgår av fig. 3).

För varje jordartsklass interpoleras jorddjupsdata till ett raster med metoden ”Inverse distance weighting” (IDW). Metoden innebär i korthet att ett viktat interpolerat värde i en punkt beräknas där uppmätta värden får mindre vikt med ökat avstånd från punkten.

Längs berggrundens deformationszoner (sprickzoner och förkastningar) antas jorddjupet vara större än i omgivningen. I denna modellering har vi antagit att jorddjupet ökar med 10 m i anslutning till dessa zoner. Där det finns resultat från borrhningar som inte nått berg kontrolleras dessa punkter mot det framtagna jorddjupsrastret. Där rastret visar ett lägre jorddjup än datapunkten så används datapunktens jorddjupsvärde i en ny interpolation. Hav och sjöar tas bort ifrån det resulterande jorddjupsrastret.

Ett raster som visar berggrundsytans höjd (Z-värde) tas fram genom att jorddjupsrastret subtraheras från ett höjdraster. Beräkningen av jorddjup automatiseras med hjälp av ArcGIS geoprocesseringsverktyg samt programmeringsspråket Python.



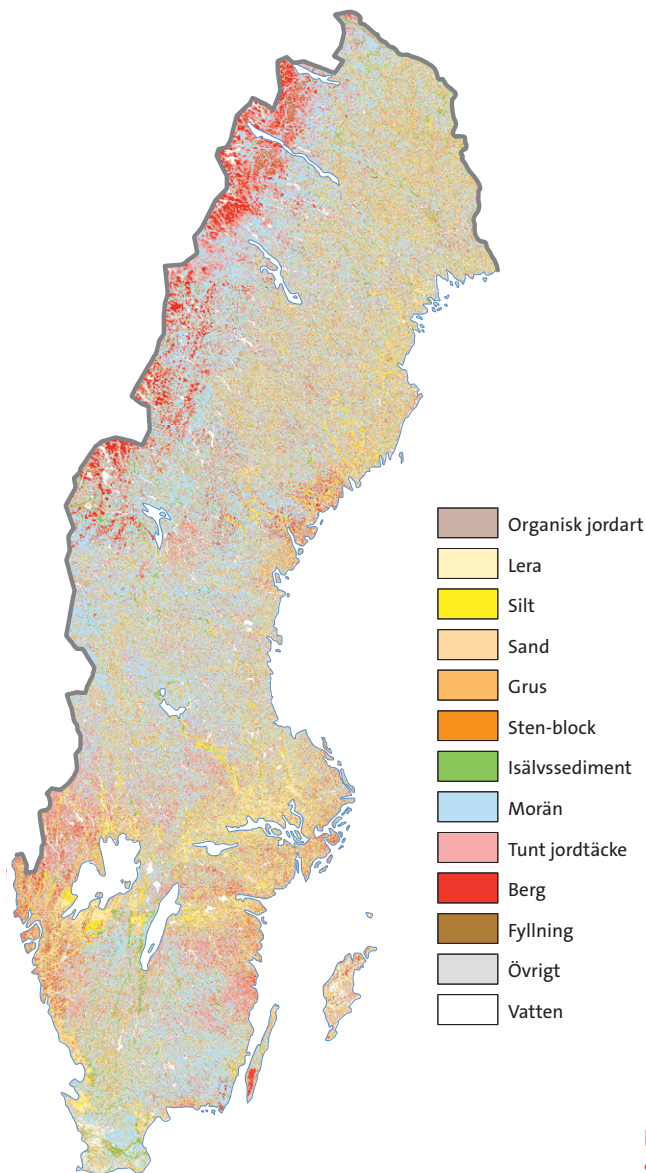
Figur 2. Jordartskartor med olika noggrannhet har använts i modelleringen. Dessa kartor är framställda med olika metoder för presentation i olika skalor.

EGENSKAPER HOS JORDDJUP

Jorrdjupet har olika egenskaper som exempelvis rumslig autokorrelation, jordartsberoende och regionala variationer. Sådana egenskaper har haft stor betydelse för tolkning och hantering av data.

Rumslig autokorrelation

Den rumsliga autokorrelationen studeras genom att beräkna semivariogram. Ett variogram är ett diagram som beskriver hur lika näraliggande mätvärden är varandra och hur detta förändras om avståndet mellan mätpunkterna ändras. Ju större avstånd det är mellan punkterna desto mindre korrelation är det mellan mätvärdena. I detta fall har jorrdjupet plottats mot jordarten och variogrammen visar inom vilket avstånd det finns samvarians mellan jorrdjupspunkterna. Räckvidden, dvs. där kurvan i variogrammen planar ut, visar var samvariansen slutar. Detta avstånd har använts som underlag i modellen för att veta hur långt bort man kan sträcka sig för att hämta information om jorrdjupet i en viss punkt.

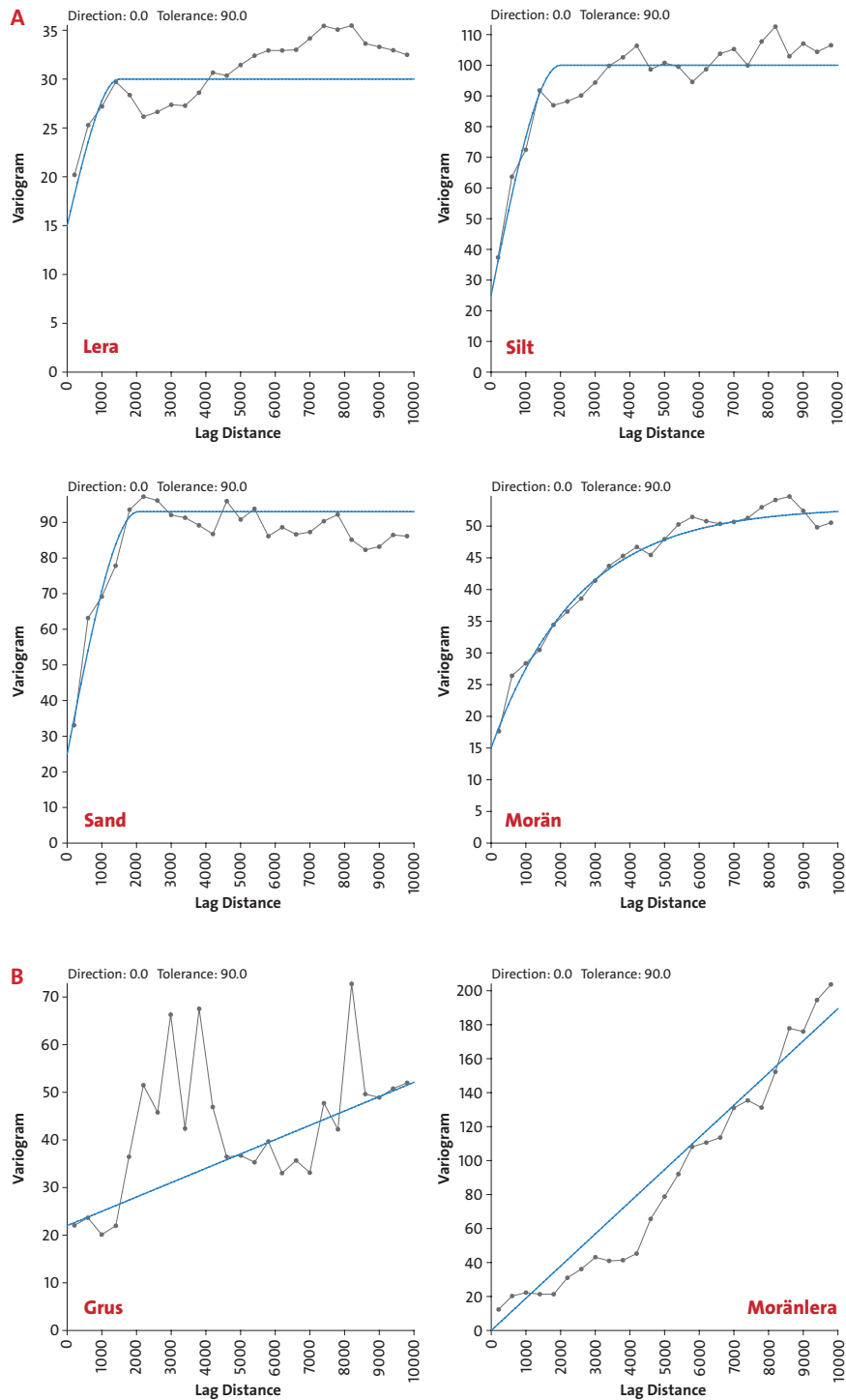


Figur 3. Jordartskarta över Sverige.

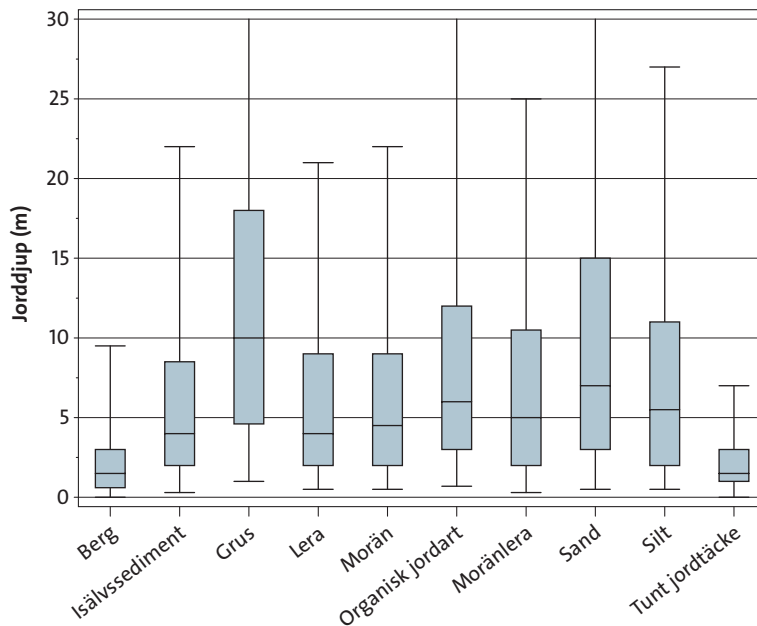
Resultaten visar dels att den rumsliga autokorrelationen varierar mellan jordarter, dels att räckvidden för autokorrelationen i många fall kan vara svår att fastställa. För lera, sand och silt var semivariogrammen tämligen tydliga med en räckvidd av omkring 2 km (fig. 4a). För morän tycks räckvidden vara ungefär 6 km. Detta innebär att jorddjup på större avstånd än 6 km kan betraktas som statistiskt oberoende av varandra. För grus och moränlera kan någon räckvidd för autokorrelationen inte noteras (fig. 4b). För dessa jordarter finns alltså ingen tydlig gräns för sambandet mellan jorddjup på olika platser.

Jordartsberoende

Det totala jorddjupet är beroende av den närmast markytan liggande jordarten (fig. 5). De i figur 5 redovisade jorddjupen kommer från de datakällor som presenterats ovan, främst Brunnsarkivet. De närmast markytan liggande jordarterna är klassificerade enligt SGUs jordartskarta (fig. 3). I områden som på jordartskartan redovisas som isälvssediment är exempelvis mediandjupet 10 m medan morän har mediandjupet 4 m. Flera av de jordarter som redovisas på jord-



Figur 4. **A.** Semivariogram för jorddjup i områden som på jordartskartan redovisas som lera, silt och sand samt morän. Räckvidden för autokorrelationen är ungefär 2 km och tämligen tydlig. Räckvidden för morän är ungefär 6 km. **B.** Semivariogram för jorddjup i områden som på jordartskartan redovisas som grus och moränlera. Någon tydlig räckvidd för autokorrelationen kan inte noteras.

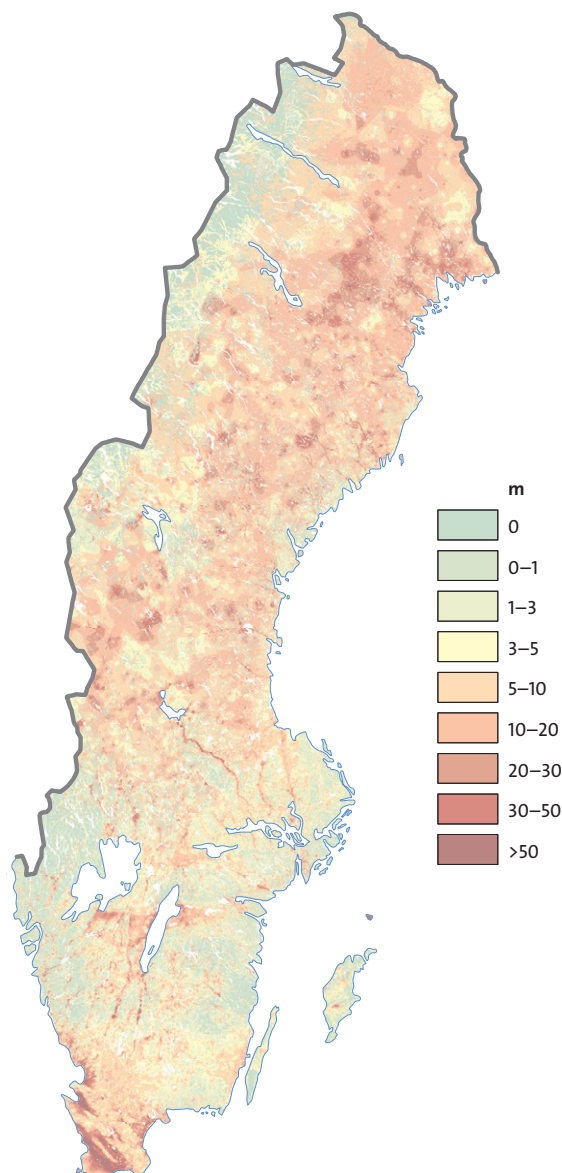


Figur 5. Observerade jorddjup för områden med jordart av viss typ. Observera att de redovisade värdena inte representerar tjockleken hos de individuella jordarterna utan det totala jorddjupet inom områden där respektive jordart utgör ytjordart. Extremvärdena utgörs av 5:e och 95:e percentilerna.

artskartan underlagras oftast av andra jordarter. Exempelvis underlagras lera och silt oftast av morän som i sin tur vilar på berget. Det totala jorddjupet utgörs med andra ord på många platser av summan av flera jordartslagers mäktighet. I områden som på jordartskartan redovisas som Berg och Tunt jordtäckte (fig. 3) kan noteras att fler än 25 % av observationsplatserna har jorddjup större än 2,5 m. Detta beror sannolikt till stor del på att läget för borrhningarna inte angetts med exakta koordinater, vilket gör att en borrhning som utförts en bit från ett hällområde i databasen kan ha koordinater som ligger på hällområdet. Det kan också bero på lägesfel i jordartskartan. Sannolikt är medeljorddjupen i områden med lera, organisk jord och silt större än vad som anges i figur 5. I ett område där en av dessa jordarter förekommer kan de största jorddjupen förväntas i de centrala delarna av jordartens utbredning. På sådana platser anläggs normalt inte brunnar utan oftare nära övergången till annan jordart, t.ex. morän. Eftersom de värden som redovisas i figur 5 till övervägande delen kommer från Brunnarsarkivet finns det därför en uppenbar risk att de redovisade medelvärdena är för låga.

Regionala variationer i jorddjup

En interpolerad Sverigekarta (fig. 6) visar på tydliga skillnader i jorddjup mellan olika delar av landet. De stora jorddjupen i Skåne sammanfaller till stor del med lätteroderade sedimentära bergarter vilka gett upphov till mäktiga moränlager. Vissa välkända geologiska företeelser såsom den Mellansvenska israndzonen framträder som ett öst–västligt stråk med stora jorddjup som kan följas genom Östergötland, Västergötland och Dalsland. Flera av de nord–sydligt orienterade rullstensåsar som korsar Mälaren framträder tydligt som stråk med relativt stora jorddjup. Längs västkusten återspeglar modellen tydligt ett sprickdalslandskap med lerfyllda dalgångar med stora jorddjup vilka till stor del omges av hällmark. Tunna jordtäckten förekommer t.ex. i en bred öst–västlig zon genom norra Götaland och södra Svealand, medan utbredda mäktiga jordlager dominerar i stora delar av Norrlands inland. Dessa skillnader har sin förklaring i variationer i såväl inlandsisarnas dynamik som deras förmåga att erodera och transportera material från underlaget.



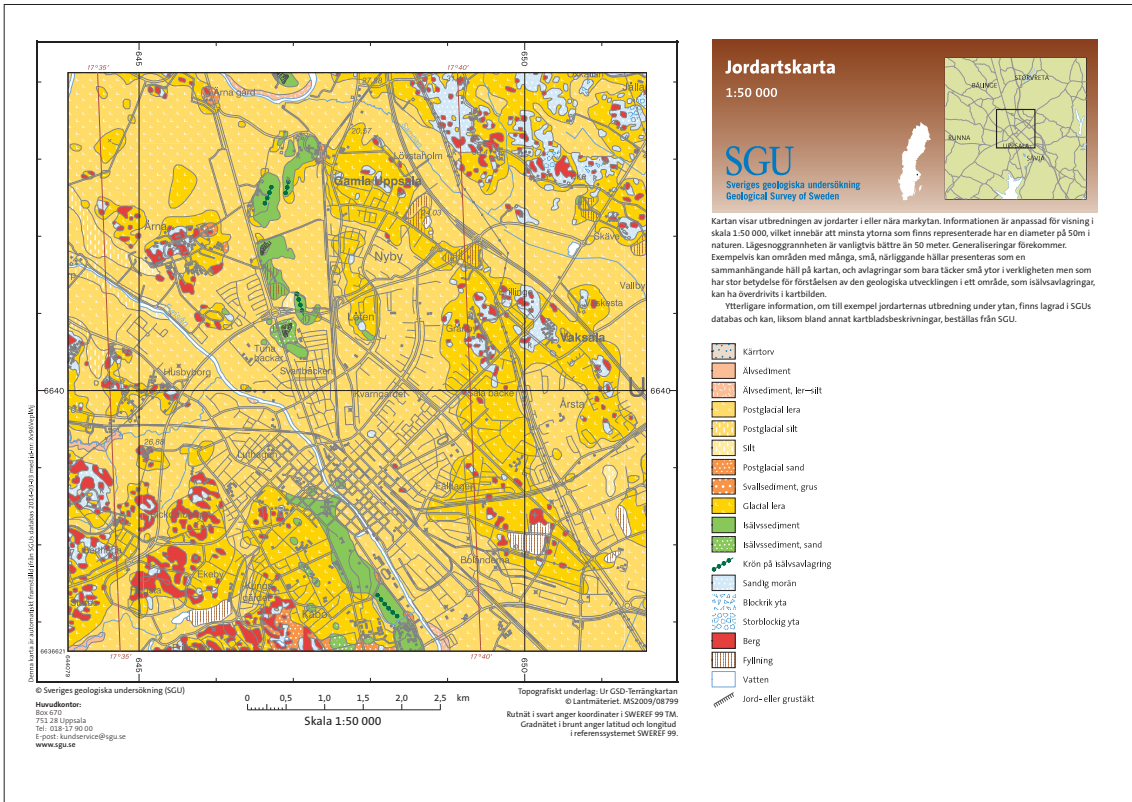
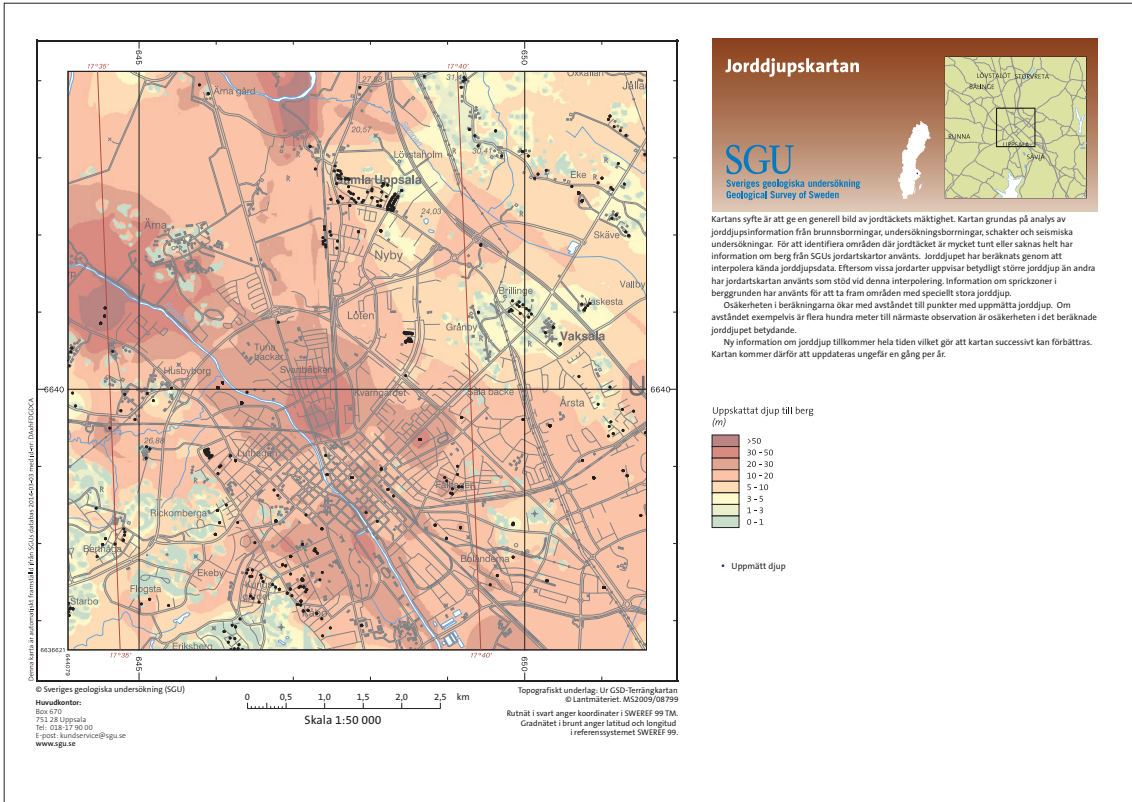
Figur 6. Modellerade jorddjup.

Jorddjupsmodellen i Uppsalaområdet

Ett exempel på en lokal presentation av interpolerade jorddjup redovisas i figur 7. Presentationen kommer från SGUs kartgenerator. Punkter med uppmätta jorddjup finns redovisade vilket ger en möjlighet att bedöma osäkerheten hos de interpolerade jorddjupen. En jämförelse med jordartskartan visar tydligt hur jordarternas fördelning samvarierar med jorddjupen. I kartans sydvästra hörn dominerar morän och berg och jorddjupen är där relativt blygsamma. Uppsalas centrala delar är delvis belägna på isälvsmaterial och delvis på lera vilket förklarar de stora jorddjupen. Det finns relativt få jorddjupsobservationer i de områden där de största jorddjupen kan förväntas, vilket gör att de modellerade jorddjupen har en relativt stor osäkerhet i dessa områden.

FELKÄLLOR OCH OSÄKERHETER

Osäkerheten i modellen varierar kraftigt från område till område. I områden med tätt liggande jorddjupsuppgifter (borrpunkter), en detaljerad jordartskarta (skala 1:50 000) och en jämn berg-



Figur 7. Jorddjupsmodellen och jordartskarta för Uppsalaområdet.

överyta är osäkerheten förhållandevis liten. Sydvästra Skåne är ett exempel på ett sådant område. I stora delar av Norrlands inland är å andra sidan borrhöjningarna så glesa och jordartskartan så översiktlig att jorddjupsmodellen endast bör användas för att ge en indikation på jorddjupets variation inom större områden, inte för att ge information om jorddjupet på en viss plats.

En förutsättning för att kunna använda jorddjupsmodellen på ett korrekt sätt är att man förstår hur den tagits fram och vilka de viktigaste felkällorna är. För att kunna bedöma dess osäkerhet inom ett område eller på en plats måste man kunna se läget av borrhöjningar och andra jorddjupsuppgifter. Man bör också ha tillgång till en jordartskarta. Felkällor som bör beaktas är:

- Glesa och ojämnt geografiskt fördelade jorddjupsdata medför olika typer av problem. Mängden data, främst i Brunnsarkivet, styrs av befolkningstätheten vilket kan medföra egenheter med representativiteten hos data. Områden med stora jordmäktigheter är sannolikt underrepresenterade eftersom man av flera skäl undviker att borra i sådana områden. Dessutom har borrhöjningarna ofta avbrutits innan bergytan nåtts. Om data saknas så antas jorddjupet vara lika med medelvärdet för jordarten vilket kan skilja sig avsevärt från förhållandena på en viss plats.
- Geometrisk fel jordartskartan. Modellens noggrannhet beror till stor del på noggrannheten av den jordartskarta som använts vid modelleringen. Noggrannheten i jordartskartor i skala 1:50 000 är ca 50 m. Noggrannheten i jordartskartan i skala 1:1 miljon är inte bättre än ca 1 km. Modellen bör därför användas med stor försiktighet, särskilt i områden som inte är detaljkarterade.
- Noggrannheten i uppmätt jorddjup. Jorddjupet har uppmätts med olika metoder. Generellt sett brukar uppgifter från borrhöjningar ha hög noggrannhet. Ett specialfall är mätningar som inte har nått berg vilket innebär att det endast framkommer att djupet är större än ett angivet värde. Enligt den nuvarande modellen så antas dessa värden vara lika med jorddjupet vilket i många fall kan skilja sig betydligt från det verkliga jorddjupet.
- Borravslut mot block kan felaktigt ha tolkats som borravslut mot berg. Detta leder till att jorddjupet underskattas.
- Lägesfel i ingående data. Borrhöjningar och dylikt kan ha tilldelats felaktiga eller osäkra koordinater. Brunnsarkivets uppgifter har varierande lägesnoggrannhet där den sämsta klassen för lägesnoggrannhet anger att läget avviker mer än 250 m.
- Hantering av information om deformationszoner i berggrunden. I modelleringen antas att jorddjupet i deformationszoner är 10 m större än i omgivande områden. Detta är naturligtvis ett mycket grovt antagande som kan ifrågasättas. Syftet är att antyda att större jorddjup kan förväntas längs deformationszonerna, inte att ange ett precist mått på jorddjupet.
- Ojämn bergöveryta. Till ovanstående felkällor kan läggas att berggrundens överyta i många områden är så ojämn att det inte är möjligt att ta fram en tillförlitlig jorddjupskarta med den datatäthet som nu är tillgänglig annat än på en mycket översiktlig nivå.

VALIDERING AV JORDDJUPSMODELLEN

Interpolerade jorddjup har testats mot uppmätta jorddjup. Generellt sett uppvisar sådana tester överraskande goda resultat vilket delvis beror på rumsliga beroenden med data som används i beräkningarna. "Testdjupen" ligger ofta i närheten av de uppmätta jorddjup som används vid beräkningarna. Det finns därför behov av att utveckla en metod för att göra oberoende tester av uppmätta och interpolerade jorddjup.

FRAMTIDA UPPDATERINGAR

Jorrdjupsmodellen kommer att uppdateras ungefär en gång per år varvid en uppdaterad jorddjupskarta framställs. Tillkommande data innebär att de interpolerade jorddjupen gradvis kommer att förändras. Beräkningsmetoden utvärderas kontinuerligt och kan därmed komma att utvecklas och därmed ge förbättrade resultat. Vi är tacksamma för synpunkter och förslag som kan leda till en förbättrad jorddjupsmodell.