

Geologisk 3D-modell

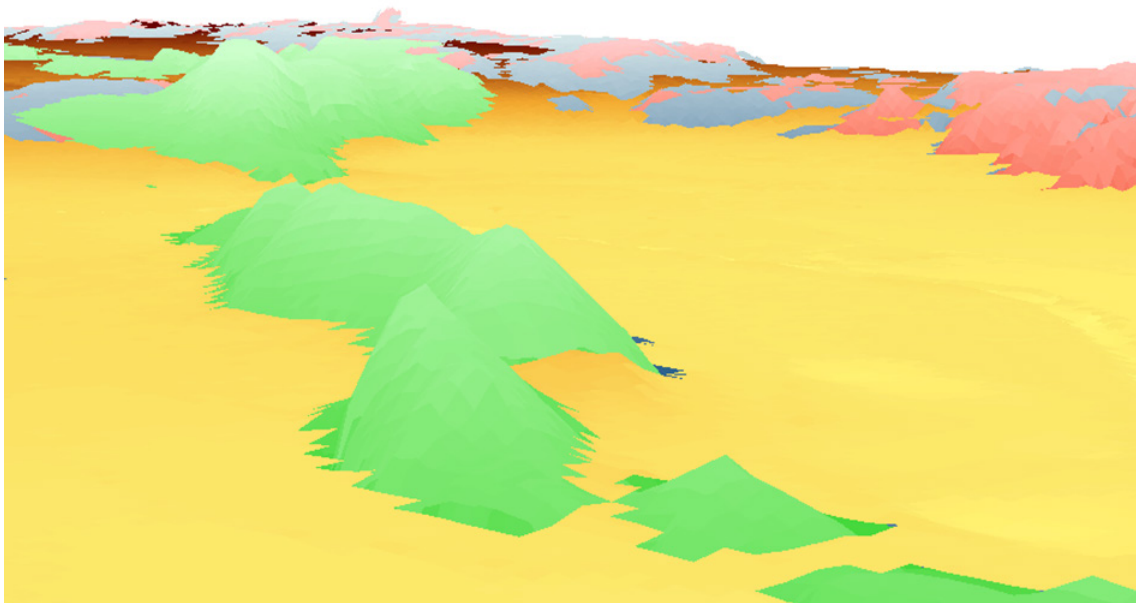
# Enköpingsåsen

---

Maria Forsgård

juni 2020

SGU-rapport 2020:20



Omslagsbild: Geologisk 3D-modell, Enköpingsåsen.  
Modellen är framtagen av Maria Forsgård & Ricky Terrington, BGS.

Författare: Maria Forsgård  
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](mailto:sgu@sgu.se)  
[www.sgu.se](http://www.sgu.se)

## INNEHÅLL

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| Sammanfattning.....                        | 4  |
| Inledning.....                             | 4  |
| Intressenter och samarbetspartner .....    | 4  |
| Syfte .....                                | 4  |
| Underlag.....                              | 4  |
| Kartor och databaser.....                  | 4  |
| Terrängläge och geologisk översikt.....    | 5  |
| Modellområdet .....                        | 5  |
| Geologi.....                               | 6  |
| Hydrogeologi.....                          | 8  |
| Metoder.....                               | 9  |
| Geologiska antaganden .....                | 10 |
| Modellens begränsningar och osäkerhet..... | 11 |
| Resultat.....                              | 12 |
| Modellerade lager.....                     | 12 |
| Referenser.....                            | 13 |

## SAMMANFATTNING

En 3D-modell har tagits fram över jordlagren inom en ca 10 km lång sträcka av Enköpingsåsen samt dess tillrinningsområde.

Modellen bygger på analys av borrhålsuppgifter, geofysiska mätresultat och Sveriges geologiska undersöknings (SGUs) jordartskarta. Modellen ger en översiktlig bild av geologin mellan bergyta och markyta, och används lämpligen som underlag för förvaltning av grundvattenresursen, sårbarhetsanalyser och fysisk planering i allmänhet.

## INLEDNING

Denna modell har tagits fram inom projektet ”Geodata i 3D” vid SGU. Projektets syfte 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. Modellen är en vidareutveckling och uppdatering av en 3D-modell över Enköpingsåsen framtagna i en tidigare studie (Terrington m.fl. 2017).

Skälet till uppdateringen är att föregående modell främst togs fram som en metodstudie, och följaktligen är mycket översiktlig. I den nya modellen har det bl.a. tillkommit en stor mängd information, och modellområdet har reviderats.

Modelleringsledare har varit statsgeolog Maria Forsgård. Ricky Terrington från British Geological Survey (BGS) har också deltagit i arbetet med modellen.

## Intressenter och samarbetspartner

Huvudintressent är Enköpings kommun, som har bidragit med en stor mängd borrhålsuppgifter, rapporter och kunskap om de geologiska och hydrogeologiska förhållandena.

## SYFTE

Modellens syfte är, förutom att ge en översiktlig bild av geologin mellan bergyta och markyta, att ge underlag för förvaltning av grundvattenresursen i åsen, sårbarhetsanalyser och fysisk planering i allmänhet. Planlagt är även att modellresultatet ska anpassas för att vara användbart inom grundvattenmodellering.

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+. Höjdmodellen har använts för att definiera topografin i modellen samt som underlag för att beräkna grundvattenmagasinets tillrinningsområde.
- SGUs batymetridata. Batymetri har använts för att definiera sjöbotten i de områden där data funnits tillgängligt.
- SGUs jordartskarta (SGU 2020a). Skalan i modellområdet är 1:50 000.

- SGUs karta över grundvattenmagasin (SGU 2020b). Den i kartan definierade fasta grundvattendelaren vid Lindgården har använts som modellavgränsning i norr.
- Vattenförekomster i VISS. Vattenförekomsten Enköpingsåsen har använts för att avgränsa lagret isälvssediment (vilket här anses synonymt med grundvattenmagasinet). Flera justeringar har därefter gjorts med hänsyn till borrhålsinformation.
- Borrhålsuppgifter
  - Befintliga borrhålsuppgifter 486 stycken. och övrig jordlagerföljdsinformation från SGUs databaser (SGU 2020c, d). Samtliga borrhålsuppgifter har värderats och huvuddelen har använts i modelleringen. I de fall betydande fel har upptäckts har informationen i databaserna korrigerats i efterhand.
  - Ett urval av borrhålsuppgifter från geotekniska utredningar från Enköpings kommun (394 stycken).
  - Ett urval av borrhålsuppgifter sammanställda av Geosigma inför upprättande av grundvattenmodell över Enköpingsåsen (218 stycken), på uppdrag av Enköpings kommun.
  - Ett urval av borrhålsuppgifter från Trafikverket samt Fortifikationsverket Eskilstuna (180 stycken).
  - Ett urval av borrhålsuppgifter från utredningar av förorenad mark vid Enköpings tätort (7 stycken).
  - Borrhålsuppgifter (manuell spadborrning, SGU) från fältbesök april 2019 (4 stycken), i syfte att utreda förekomst av lera nära åsryggen.

De ovan nämnda borrhålsuppgifter som har samlats in från externa källor har lagrats i databas hos SGU under arbetet med modellen (SGU 2020d).

- Tolkade seismiska profiler (5 stycken) (SGU 2020e).

## TERRÄNGLÄGE OCH GEOLOGISK ÖVERSIKT

### Modellområdet

Modellen omfattar ett avsnitt av Enköpingsåsen från Kolartorpet i söder till Lindgården i norr (fig. 1). Modellområdets avgränsning utgörs i väster och öster av gränsen för tillrinningsområdet till grundvattenmagasinet (med antagandet att grundvattendelare sammanfaller med ytvattendelare). Ett antal perifera deltillrinningsområden har inte inkluderats i modellen. En bedömd fast vattendelare i åsen utgör modellgräns i norr, och i söder har en grov modellgräns placerats i Mälaren. Modellområdet är ca 42 km<sup>2</sup>. Modellens högsta punkt är ca 56 m över havet och dess lägsta punkt är ca 1 m under havsytans nivå.

Den undersökta delen av Enköpingsåsen är en betydelsefull grundvattenförekomst för Enköpings stad, eftersom det här finns en vattentäkt som används för stadens vattenförsörjning. Vattentäkten återfinns i tätbebyggt område och är kopplad till föroreningsproblematik.



Figur 1. Modellområdets avgränsning.

## Geologi

Enköpingsåsen, som i sin helhet sträcker sig från söder om Södertälje i Södermanland, till söder om Bollnäs i Hälsingland, utgör en av de stora mellansvenska isälvsavlagringarna. Åsen har

ställvis lokala namn – inom modellområdet är dessa från söder till norr Gröngarnsåsen, Kyrkåsen och Akademiåsen (Söderholm 2010).

De beskrivna geologiska förhållandena i detta avsnitt är baserade på SGUs jordartskarta samt tillhörande beskrivning över området (Möller 1976, 1985). Jordartskartan visas i figur 2.

Isälvsavlagringen utgörs av sorterade jordarter, så kallat isälvsediment, som transporterats, sorterats och avsatts av smältvatten från inlandsisen. Åskärnan består av grövre material (grus och sten) och omges av isälvsand som tunnar ut på ökat avstånd. Delar av isälvsavlagringen samt omgivande låglänta områden är täckta av lera av glacialt och postglacialt ursprung.

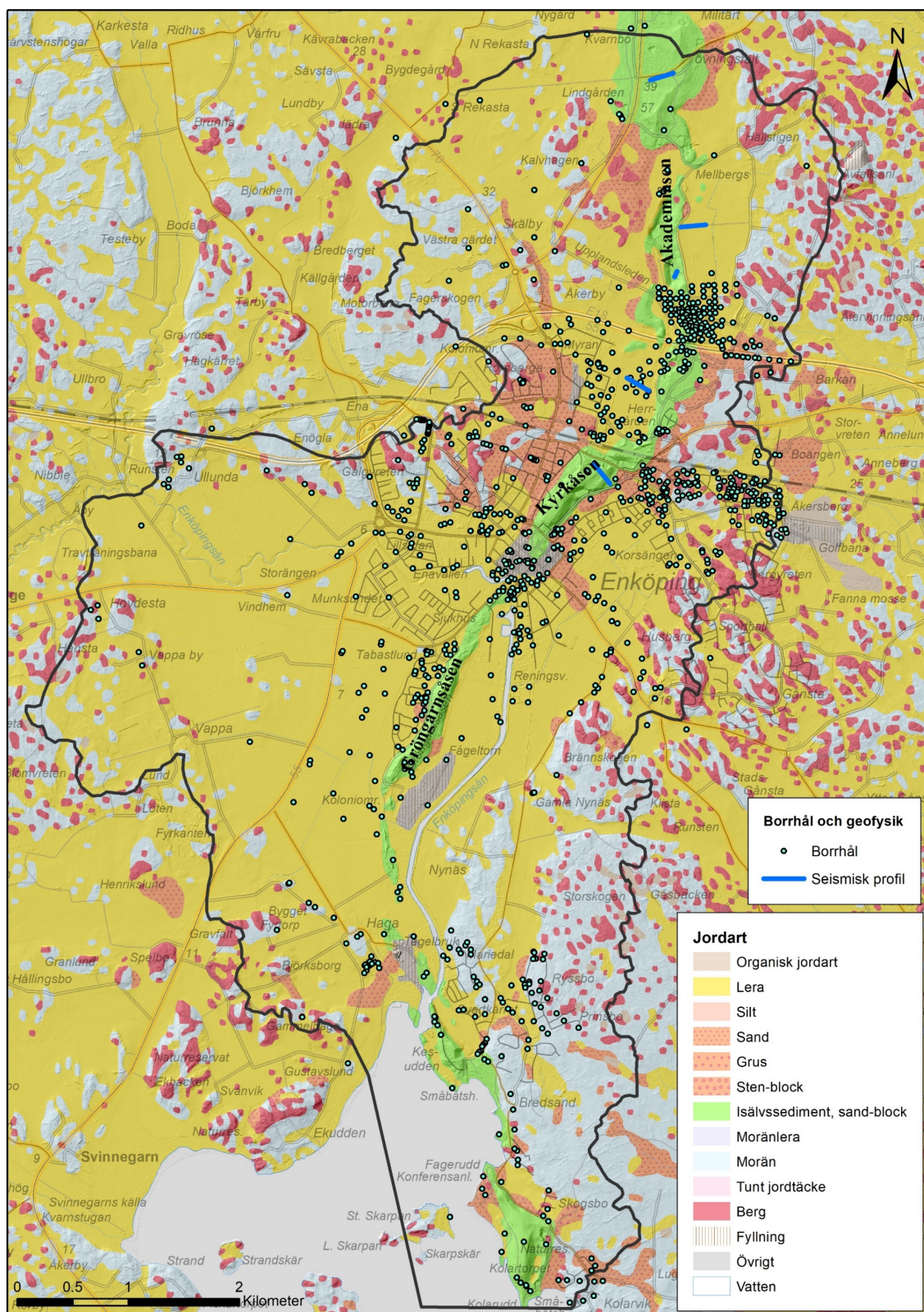
Isälvsedimenten har alltså en betydligt större utbredning än vad som framgår av jordartskartan. Området är beläget under högsta kustlinjen, och leran avsattes när området ännu var täckt av hav. När åsen genom landhöjningen steg ur havet utsattes den för erosion genom havsvågors svallning. Då avsattes sandlager (postglacial sand, även kallad svallsand) längs åsens sluttningar och även på vissa ställen ut över leran som omger åsen. En konsekvens av detta är att det på många platser förekommer sandtäckt lerskikt. Detta kan påverka både möjligheten för vatten att infiltrera i åsen och markstabiliteten.

De glaciala lerorna täcks ofta av yngre, postglaciala leror vilkas mäktighet ökar längre ner i terrängen. I närheten av isälvsavlagringen är det vanligt förekommande att den glaciala leran underlagras av sand. I övrigt vilar den glaciala leran ofta direkt på morän.

Berggrunden är, utom i terrängens högre delar där berget går i dagen samt direkt under isälvsavlagringen, generellt täckt av sandig morän. Där svallningen varit särskilt kraftig har moränen omlagrats till svallsediment. Moränen saknar i allmänhet egna ytformer, med undantag för främst ändmoräner och i viss mån läsidesmoräner. Ändmoräner utgörs av ryggar parallellt med isfronten och läsidesmoräner som ryggar i isrörelseriktningen, utsträckta på berghällarnas läsidor.

Berggrunden utgörs av tonalit-granodiorit och kvartsarenit (SGU 2020f). En lokal deformationszon i berggrunden har samma sträckning som åsen i södra delen av modellområdet.





**Figur 2.** Terrängskuggad jordartskarta över området. Punkter för borrhålsuppgifter (1289 st.) samt seismiska profiler (5 st.) redovisas också.

## Hydrogeologi

De beskrivna hydrogeologiska förhållandena i detta avsnitt är baserade på SGUs karta över grundvattenmagasin samt tillhörande beskrivning över området (Söderholm 2008, 2010).



Modellområdet består enligt SGUs tidigare kartläggning av flera olika grundvattenmagasin, ibland åtskilda från varandra genom höga berglägen inom isälvsavlagringen.

I den södra delen av modellområdet finns isälvsavlagringen Kolarudd, Fagerudd och Bredsand, längs med Svinnegarnsviken i Mälaren (fig. 2). I detta område har undersökningar visat att grundvattnet är sött ner till ett djup på cirka 10 m medan grundvattnet vid Kolarudd, 30 m under havsytan, har en salthalt på 4 100 mg/l. Grundvattnet bedöms strömma solfjäderformat i området mellan Kolarudd och Fagerudd, ut mot viken. En viss grad av inducerad infiltration från viken till grundvattenmagasinet, bedöms tidvis kunna förekomma.

Sträckan från Bredsand och norrut mot Kyrkåsen (innefattande Gröngarnsåsen) bedöms som ett sammanhängande grundvattenmagasin. I detta magasin, vid Munksundet, ligger kommunens vattentäkt. Erfarenheter från driften av vattentäkten visar på uttagsmöjligheter långt större än den beräknade grundvattenbildningen över området, och därmed bedöms inducerad infiltration från Svinnegarnsviken och delar av Enköpingsån förekomma i samband med uttagen. Söder om Enköping, i Gröngarnsåsens södra del, läcker grundvatten ut till vattendragen.

I höjd med Kyrkåsen bedöms bl.a. höga berglägen ge upphov till en, något osäker, grundvattendelarzon. Geofysiska undersökningar samt borrhningar visar att stora delar av isälvsavlagringen från Kyrkåsen och norrut mot Lindgården är torr, men att isolerade grundvattenmagasin förekommer. Osäkerhet råder dock om i vilken grad de olika partierna kommunicerar med varandra under lerområdena.

Vid Lindgården är åsen förhållandevis bred och höga berglägen ger upphov till en fast grundvattendelare.

Grundvattenbildning till omgivande magasin bedöms äga rum även i de lägen där isälvsavlagringen är torr, och sådana områden är därför viktiga ur skyddssynpunkt.

## METODER

Modellen har byggts upp i två steg. Först ritades tvärsektioner i programvaran Groundhog. Dessa tvärsektioner användes sedan för att interpolera ytor i programvaran GOCAD. Interpoleringen utfördes av British Geological Survey, BGS.

Tvärsektionerna ritades manuellt och beskriver de geologiska lagren. För att rita sektioner krävs kännedom om varje enskilt lagers djup och utbredning i plan. Med stöd av insamlat dataunderlag, generell kunskap om områdets geologi och beskrivna antaganden (se avsnittet *Geologiska antaganden*) har 183 sektioner upprättats. Sektionerna inkluderar samtliga borrhål och seismiska profiler. Vid upprättande av sektioner har hänsyn tagits till att göra dem så raka som möjligt. Merparten av sektionerna löper tvärs över Enköpingsåsen, men några har även dragits längs med den. De upprättade sektionerna utgör sedan grunden för interpoleringsprocessen som resulterar i en heltäckande 3D-modell över området. Interpoleringen utfördes i två omgångar. Efter den första omgången kontrollerades resultatet med avseende på hur väl det överensstämde med de upprättade tvärsektionerna, utbredning i plan och generell mäktighet på de olika jordlagren. Resultatet kontrollerades även genom s.k. syntetiska tvärsektioner, dvs. nya tvärsektioner delvis lokaliserade i områden utan data. Problemområden hanterades sedan genom att upprätta några kompletterande tvärsektioner, som användes i en andra interpoleringsomgång.

Den färdiga modellen redovisas slutligen dels visuellt i ett 3D-verktyg på SGUs webbplats (3D-visare, [www.sgu.se](http://www.sgu.se)), dels som nedladdningsbara data.

## Geologiska antaganden

Följande information, hämtad från beskrivningen till jordartskartan över området (Möller 1985), har utgjort grund för uppbyggnaden av 3D-modellen (i de fall borrhålsuppgifter inte ger mer specifika uppgifter)

- Isälvssedimenten ligger huvudsakligen direkt på berget.
- Berggrundsytan täcks av ett moränlager med en mäktighet av ca 1–5 m. Undantagsvis (t.ex. i större sänkor och dalstråk) kan moränsens mäktighet överstiga 10 m.
- Moränen saknar generellt egna ytformer. Den utfyller delvis depressioner i berg och återspeglar i övrigt berggrundens ytform.
- Där morän går i dagen finns berggrunden generellt nära under ytan. I sluttningar mot berghällar tunnas moränen ut uppåt, och mäktigheten uppgår sällan till mer än ett fåtal meter.
- Den postglaciala sanden (svallsediment) är som mäktigast i åsens närhet, ca 1–2 m, och underlagras i dessa områden vanligen av lera.
- Postglacial sand (svallsediment) i huvudsakliga moränområden i terrängens lägre delar underlagras av lera. Högre upp i landskapet, underlagras svallsedimenten inte av lera utan ligger direkt på morän.
- Torvområdets mäktighet är ca 1–2 m och underlagras ofta av lera.

Informationen ovan har kompletterats med följande antaganden under uppbyggnaden av 3D-modellen:

- Redovisad friktionsjord i borrhålsuppgifter kan utgöras av isälvssediment eller morän, alternativt båda jordarterna. Förekomst av friktionsjord med en mäktighet överstigande ca 5 m i närheten av åsen har huvudsakligen tolkats som isälvssediment och därmed, där tillämpligt, föranlett en justering av grundvattenmagasinets utbredning.
- Isälvssedimenten, och därmed också grundvattenmagasinet, sträcker sig ut en bit under den omgivande leran. Detta innebär att i de fall grundvattenmagasinets ursprungliga gräns sammanfaller med gränsen mellan isälvssediment i dagen och lera, så har gränsen flyttats.
- Isälvssedimenten ligger direkt på berg, med undantag för en 50 m bred zon längs avlagringens ränder, där morän återfinns mellan berget och isälvssedimenten. Detta förhållande har justerats något i det fåtal områden där borrhålsinformation föranlett detta.
- Undersidan av isälvssedimenten rakt under åsformer är generellt något skålformad, i de fall övrig information helt saknas.
- Där den postglaciala sanden angränsar till isälvssediment, morän eller berg, ligger den direkt an mot dessa i en begränsad kantzon.
- Torvområden i topografiskt högt belägna moränområden, utan lera i anslutning till dessa, ligger direkt på morän.
- Vatten (Enköpingsån, Mälaren) underlagras av lera med undantag för avsnittet där Enköpingsån skär genom åsen (där rinner ån direkt i isälvssedimenten och hydraulisk kontakt förutsätts därmed).

Följande tillvägagångssätt för att hantera avslutad borrhning (borrstopp) har tillämpats:

- Borrstopp har generellt tolkats som berg om inga omkringliggande borrhål indikerar något annat. Undantag utgör borrhål där borrhning slutat ovanför morän – där har borrstopp ofta tolkats som övergången till morän. Undantag utgör även s.k öppna borrstopp, vilka innebär att borrhning sannolikt avslutats i samma geologiska lager.
- En harmoniserad ritmetod har tillämpats, vilket innebär att så länge inte borrhålsinformation tydligt motsäger det, så har stora dalar och toppar i lagerövergångar undvikits. Detta leder

framför allt till att bergöverytan ska betraktas som utjämnad i modellen, i jämförelse med den faktiska bergöverytan som ofta undulerar.

## MODELLENS BEGRÄNSNINGAR OCH OSÄKERHET

3D-modellen är förknippad med osäkerheter och återger enbart en generaliserad bild av jordlagren. Osäkerheten varierar beroende på mängden och kvalitén på indata för varje enskild del av modellen. I vissa områden finns det tätt med borrhål och modellen representerar följaktligen verkligheten bättre där, än i områden där det är långt mellan borrhålen.

Eftersom avslutad borrhning i flera fall har tolkats som antingen överkant på berg eller morän, oavsett varför man har slutat borra, har en systematisk underskattning av jordlagrens totala mäktighet introducerats i modellen. Denna underskattning bedöms vara störst när det kommer till isälvsedimentens mäktighet eftersom borrhstopp mot block och sten där är vanligt förekommande, och isälvsedimenten kan vara mycket mäktiga (till skillnad från moränen i området som enligt beskrivningen till jordartskartan generellt inte bör överstiga ca 5 m). Förenklingen innebär dock att grundvattenmagasinet kapacitet med avseende på magasineringsförmåga inte överskattas. När mer data finns att tillgå kan modellen istället uppdateras efter behov.

I områden längre från grundvattenmagasinet är terrängen småkuperad med berg i dagen och tunn morän däremellan. Här är det förhållandevis lätt att uppskatta jorddjupen, även utan omfattande borrhålsunderlag.

Osäkerheter i grundvattenmagasinet, och därmed även isälvsedimentens, utbredning i plan är främst förknippade med sporadisk förekomst av tillräckligt djupa eller informativa borrhål, men även med svårigheten att skilja isälvsediment från morän på djupet. Grovt material redovisas ofta som den sammanslagna termen friktionsjord, och det är sällan jordprover tagits på de aktuella djupen. Generellt kan sägas att grundvattenmagasinet utbredning i plan sannolikt är något underskattad i modellen. Dock är isälvsedimentens ytterområden i verkligheten ofta uppblandade med morän och en klar övergång (så som modellen redovisar) saknas därför.

Genomgången av borrhålsinformation indikerar på flera platser att lerlager finns i områden där isälvsedimenten går i dagen enligt befintlig jordartskarta. 3D-modellen har i sådana områden justerats genom en ökad utbredning av leran och, om borrhålsinformation stöder det, postglacial sand ovan leran. Detta förhållande kan sannolikt gälla på flera platser i området.

Bergytan i området har erfarenhetsmässigt en utpräglad relief som inte har fångats i modelleringen. Den verkliga bergytan kan därför antas vara mer kuperad än vad modellen visar. Detta kan vara viktigt att ta i beaktande t.ex. om modelldatat används för att upprätta en grundvattenmodell. I isälvsavlagringens norra delar, dvs. från Kyrkåsen och norrut, bedöms grundvattenmagasinet i stor utsträckning antingen saknas eller vara åtskilda av höga berglägen. Bedömningen baserar sig huvudsakligen på uppmätta grundvattengradienter samt det faktum att grundvattenytan inte har gått att påvisa i geofysiska undersökningar (Söderholm 2010). Dessa förhållanden har inte efterliknats i den geologiska 3D-modellen eftersom de inte baseras på faktiska observationer av bergytan. Modellen uppvisar därför förutsättningar för ett mer sammanhängande grundvattenmagasin än vad tidigare utförda tolkningar föreslagit.

# RESULTAT

## Modellerade lager

Modellens jordartsindelning (tabell 1) är en förenkling jämfört med SGUs jordartskarta över området. Jordarter av underordnad betydelse och jordarter med liknande egenskaper har hänförs till någon av de sex jordartsklasser som modellerats. Jordlagren presenteras i tabellen enligt en generaliserad lagerföljd med det översta lagret först och det understa längst ner. För en komplett sammanställning av de enheter som finns representerade i modellen så har även vatten och berg inkluderats.

**Tabell 1.** Modellens lager enligt en generaliserad jordlagerföljd.

| Lager            | Kod enligt SGUs ramverk | Beskrivning                                                                                                                                                         | Kommentar                                                                                                                                                               |
|------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vatten           | VATTEN                  | -                                                                                                                                                                   | Vattenpolygoner har hämtats från jordartskartan och kan skilja sig något från Lantmäteriets senaste version av terrängkartan.                                           |
| Fyllning         | FYLLNING                | Jord eller andra massor påförda av människan.                                                                                                                       | Utbredning av fyllning i plan har strikt följt jordartskartan, dvs. ingen justering har gjorts efter borrhålsdata.                                                      |
| Torv             | 1_TORV_ospec            | Organisk sedentär jordart huvudsakligen bildad av förmultnade växtdelar.                                                                                            | Innefattar både mossetorv och kärrtorv.                                                                                                                                 |
| Postglacial sand | 1_PGSED_S               | Grovkorniga akvatiska sediment (sand eller grövre sediment) som transporterats och avsatts genom svallningsprocesser i postglacial tid. Benämns även svallsediment. | De postglaciala sedimenten inom modellområdet utgörs huvudsakligen av sand.                                                                                             |
| Lera-silt        | 1_OSED_L-Si             | Silt och lera, såväl glacial som postglacial.                                                                                                                       | Gyttjelera (eller lergyttja) ingår också i klassen.                                                                                                                     |
| Isälvsediment    | 1_ISALV_S-G             | Sand eller grövre sediment avsatt av isälv.                                                                                                                         | Inom isälvsedimenten i området förekommer sannolikt en åskärna av grövre material (grus-sten). Tunna skikt av silt eller lera kan också förekomma inom isälvsedimenten. |
| Morän            | 1_MORAN_D               | I huvudsak osorterad jord transporterad och avsatt av inlandsisen.                                                                                                  | Moränen i modellområdet karakteriseras som sandig.                                                                                                                      |
| Berg             | URBERG                  | —                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                         |



## REFERENSER

- Möller, H., 1976: Jordartskartan 11 H Enköping SV. *Sveriges geologiska undersökning Ae28*, 1 s.
- Möller, H., 1985: Beskrivning till jordartskartan 11 H Enköping SV. *Sveriges geologiska undersökning Ae 28*, 64 s.
- Rahm, N. & Nordqvist, R, 2012: *Hydrogeologisk grundvattenmodell av Enköpingsåsen mellan Femstugan och Mälaren samt bedömning av spridningsvägar från Mifo objekt, Enköpings kommun*. Rapport, Geosigma AB 57s.
- SGU, 2020a: Jordarter 1:25 000–1:100 000 – databas. Enköping. 2019-02-11.
- SGU, 2020b: Grundvattenmagasin – databas. Enköping. 2019-02-11.
- SGU, 2020c: Brunnar– databas. Enköping. 2019-02-18.
- SGU, 2020d: Jordlagerföljder– databas. Enköping. 2019-02-18.
- SGU, 2020e: Geofysiska markmätningar, seismik – databas. Enköping. 2019-03-22.
- SGU, 2020f: Berggrund 1:50 000–1:250 000 – databas. Enköping. 2019-02-11.
- Söderholm, H., 2008: Grundvattentillgångar i Enköpings kommun. *Sveriges geologiska undersökning K 110*, 1 s.
- Söderholm, H., 2010: Beskrivning till grundvattenförekomster i Enköpings kommun. *Sveriges geologiska undersökning K 110*, 62 s.
- Terrington, R., Thorpe, S. & Jirner, E., 2017: *Enköping Esker Pilot Study – Workflow for Data Integration and Publishing of 3D Geological Outputs*. Open Report OR/17/003, British Geological Survey, 59 s.