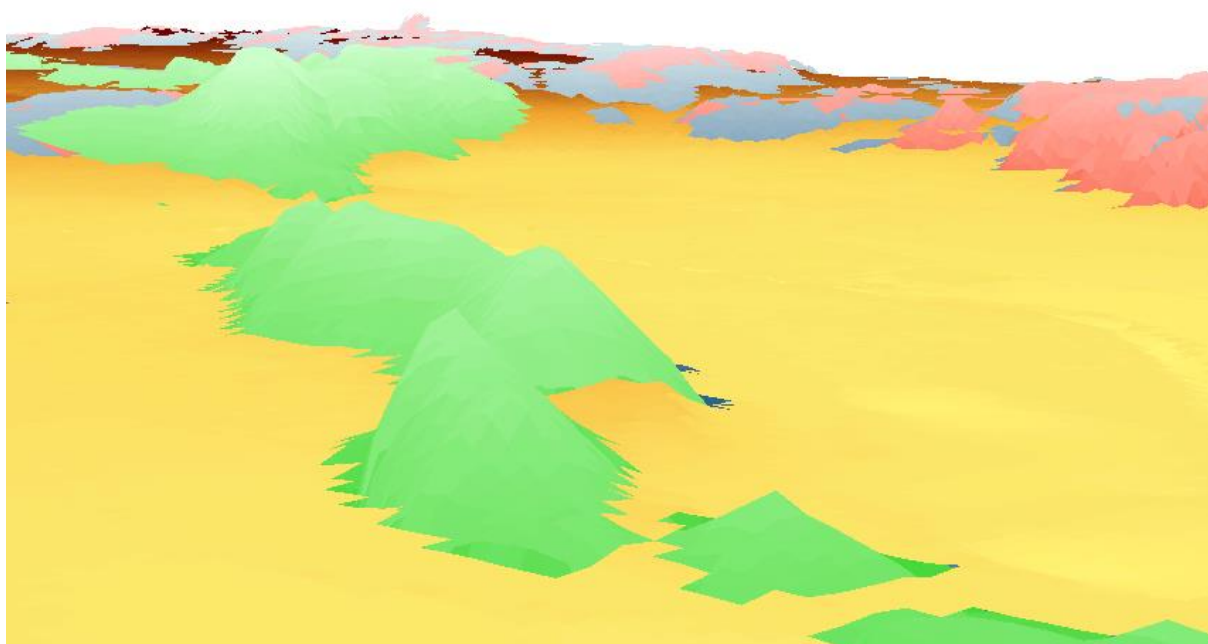


Enköpingsåsen i 3D– dokumentation

Maria Forsgård

Februari 2020



SGU

Sveriges geologiska undersökning

Författare: Maria Forsgård
Granskad av: Cecilia Karlsson
Projektnamn: Geodata i 3D
Projektledare: Eva Wendelin
Projekt-id: 27047

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

Innehåll.....	3
Sammanfattning.....	4
Inledning.....	4
Modellområde, syfte och skala.....	4
Intressenter och samarbetspartner	6
Geologisk översikt.....	6
Hydrogeologisk översikt	8
Modellerade lager.....	8
Dataunderlag	9
Metod	11
Antaganden, geologiska regler m.m.	11
Modellens begränsningar och osäkerhet	12
Referenser.....	13

SAMMANFATTNING

En 3D-modell har tagits fram över jordlagren inom en ca 10 km lång sträcka av Enköpingsåsen samt dess tillrinningsområde. Den undersökta sträckan av Enköpingsåsen är tack vare sin grundvattenförekomst av stor betydelse för regionens vattenförsörjning.

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.

Arbetet med modellen har skett i samverkan med Enköpings kommun.

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 framtagen 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 uppdaterade versionen har det bland annat tillkommit en stor mängd ny information och modellområdet har reviderats.

MODELLOMRÅDE, SYFTE OCH SKALA

Modellen omfattar ett avsnitt av Enköpingsåsen från Kolartorpet i söder till Lindgården i norr (Figur 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. I norr utgör en bedömd fast vattendelare i åsen modellgräns och i söder har en grov modellgräns placerats i Mälaren. Modellområdet är ca 42 km². Modellens högsta punkt är ca 56 m över havet och dess lägsta är ca 1 m under havsytans nivå.

Den undersökta sträckan av Enköpingsåsen utgör en betydelsefull grundvattenförekomst för Enköpings stad, som nyttjar en vattentäkt här för sin vattenförsörjning. Vattentäkten återfinns i tätbebyggt område och är kopplad till föroreningsproblematik.

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.



Figure 1: Modellområdets avgränsning (svart polygon).

INTRESSETER OCH SAMARBETSPARTNER

Huvudintressent är Enköpings kommun.

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

GEOLOGISK ÖVERSIKT

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).

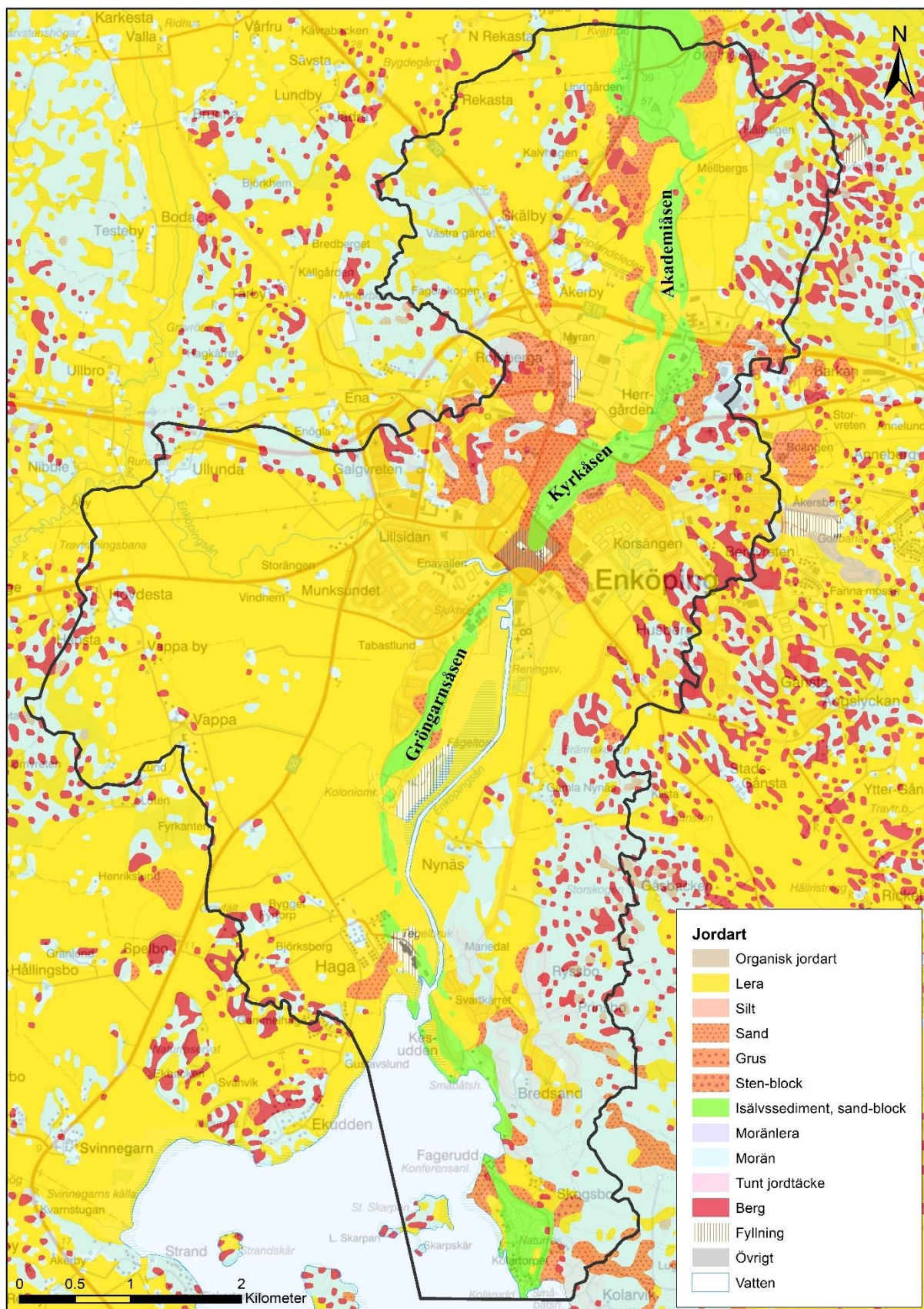
Nedan följer en sammanfattning över de geologiska förhållandena, baserad på SGUs jordartskarta samt tillhörande beskrivning (Möller, 1985) över området. Jordartskartan visas i Figur 2.

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. Därvid avsattes sandlager (postglacial sand, även kallad svallsand) längs åsens sluttningar och även ställvis ut över leran som omger åsen. En konsekvens av detta är att det på många platser förekommer sandtäckta lerskikt. Detta kan påverka möjligheten för vatten att infiltrera i åsen och även 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, läsidesmoräner som ryggar i isrörelseriktningen utsträckta på berghällarnas läsidor.

Berggrunden utgörs, enligt SGU:s kartvisare *Berggrund 1:50 000–1:250 000*, av tonalit-granodiorit och kvartsarenit. En lokal deformationszon i berggrunden har samma sträckning som åsen i södra delen av modellområdet.



Figur 2: Jordartskarta över modellområdet.

HYDROGEOLOGISK ÖVERSIKT

Nedan följer en sammanfattning över de hydrogeologiska förhållandena, baserad på SGUs karta över grundvattenförekomster samt tillhörande beskrivning (Söderholm, 2010) över området.

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

I södra delen av modellområdet innefattar isälvsavlagringen Kolarudd, Fagerudd och Bredsand längs med Svinnegarnsviken i Mälaren (Figur 2). Här har undersökningar visat att grundvattnet är sött till ett djup om cirka 10 meter, för att på Kolarudd visa en salthalt av 4100 mg/l klorid 30 meter under havsytan. Grundvattnet bedöms strömma solfjäderformat från Kolarudd-Fagerudd ut mot viken. En viss grad av inducerad infiltration från viken till grundvattenmagasinet bedöms även förekomma tidvis.

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 bland annat 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 kring 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 därav viktiga ur skyddssynpunkt.

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.

Beteckning 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.

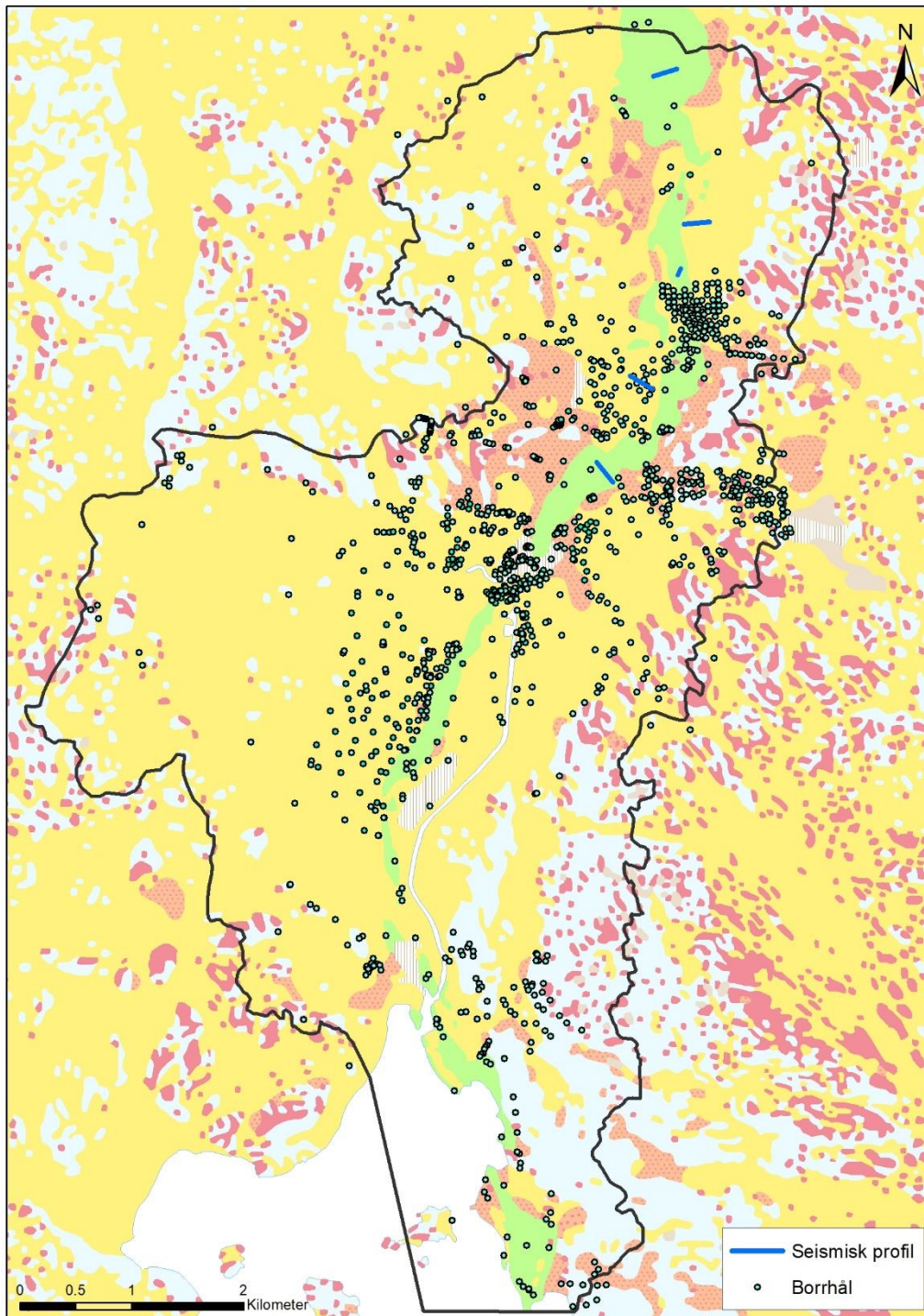
Torv	1_TORV_ospec	Organisk sedimentär jordart huvudsakligen bildad av förmultnade växtdelar.	Innefattar både mossetorv och kärrtorv.
Postglacial sand	1_PGSED_S	Grovkorniga akvatiska sediment (sand eller grövre) som transporterats och avsatts genom svallningsprocesser i postglacial tid. Benämns även svallsediment.	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	-	

DATAUNDERLAG

- 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 (produkt: *Jordarter 1:25 000–1:100 000*). Skalan i modellområdet är 1:50 000.
- SGUs karta över grundvattenmagasin (produkt: *Grundvattenmagasin*). 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 isälvsediment (vilket här anses synonymt med grundvattenmagasinet). Flera justeringar har därefter gjorts med hänsyn till borrhålsinformation.
- Befintliga borrhålsuppgifter och övrig jordlagerföljdsinformation från SGUs databaser (486 stycken). 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 lagrade i Enköpings kommuns Geoarkiv (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 kring Enköpings tätort (7 stycken).

- Borrhålsuppgifter (manuell spadborrning, SGU) från fältbesök april 2019 (4 stycken), i syfte att utreda förekomst av lera nära åsryggen.
- Tolkade seismiska profiler (5 st). De är lagrade i SGUs databaser och ingår i produkten *Geofysiska markmätningar, seismik*.

För samtliga insamlade externa borrhålsuppgifter gäller att ett urval har gjorts från originaldatat. Detta innebär att borrhål som inte tillför ny information eller i övrigt bedöms bristfälliga (för grunda, oklar jordartstolkning) har uteslutits. Ny insamlad information har lagrats i SGUs databaser under arbetets gång.



Figur 3. Karta över modellområdet med punkter för borrhålsuppgifter (1289 st) och linjer för seismiska profiler (5 st).

METOD

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.

Tvärsektionerna ritas manuellt och beskriver de geologiska lagren i två dimensioner. För att rita sektioner krävs kännedom om varje enskilt lagers djup samt utbredning i plan. Med stöd av insamlat dataunderlag, generell kunskap om områdets geologi samt beskrivna antaganden (se nästa avsnitt) 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 samt generell mäktighet på de olika jordlagren. Resultatet kontrollerades även genom så kallade syntetiska tvärsektioner, dvs nya tvärsektioner delvis lokaliserade i områden utan data. Problemområden hanteras sedan genom att upprätta några kompletterande tvärsektioner, som används i en andra interpoleringsomgång.

Den färdiga modellen redovisas slutligen dels visuellt i ett 3D-verktyg på SGUs hemsida, dels som nedladdningsbart data.

ANTAGANDEN, GEOLOGISKA REGLER M.M.

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

- Isälvsedimenten ligger huvudsakligen direkt på berget.
- Berggrundsytan täcks av ett moränlager med en mäktighet av ca 1–5 meter. Undantagsvis (exempelvis i större sänkor och dalstråk) kan moränens mäktighet överstiga 10 meter.
- 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, kring 1–2 meter, 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 isälvsediment eller morän, alternativt bäge. Förekomst av friktionsjord med en mäktighet överstigande cirka 5 meter

i närheten av åsen har huvudsakligen tolkats som isälvssediment och därmed, där tillämpligt, föranlett en justering av grundvattenmagasinets utbredning.

- Isälvssedimenten/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, men undantag för en 50 meter bred zon längs avlagringens ränder, där morän återfinns mellan berget och isälvssedimenten. Detta förhållande har justerats något i de fåtal områden där borrhinformation föranlett det.
- Undersidan av isälvssedimenten rakt under åsryggar/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 ovan morän - där har borrstopp ofta tolkats som övergången till morän. Undantag utgör även så kallade 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/toppar i lagerövergångar undvikits. Detta leder framförallt 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 samt 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 stoppkod, har en systematisk underskattning av jordlagrens totala mäktighet introducerats i modellen. Denna underskattning bedöms vara störst när det kommer till isälvssedimentens mäktighet eftersom borrstopp mot block och sten där är vanligt förekommande samt isälvssedimenten kan vara mycket mäktiga (till skillnad från moränen i området som enligt beskrivningen till jordartskartan generellt inte bör överstiga 5 meter). Förenklingen innebär dock att grundvattenmagasinets 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 grundvattenmagasinets/isälvsedimentens utbredning i plan är främst förknippade med sporadisk förekomst av tillräckligt djupa och/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 grundvattenmagasinets 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 den 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 att öka lerans utbredning samt, om borrhålsinformation stöder det, lägga 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 exempelvis om modelldatat används för att upprätta en grundvattenmodell. I isälvsavlagringens norra delar, dvs Kyråsen och norrut, bedöms grundvattenmagasinen 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 baserar sig på faktiska observationer av bergytan. Modellen uppvisar sålunda förutsättningar för ett mer sammanhängande grundvattenmagasin än vad tidigare utförda tolkningar föreslår.

REFERENSER

- Möller, H., 1985: Jordartskartan Enköping SV, karta och beskrivning. Serie Ae, nr 28, Sveriges geologiska undersökning.
- Rahm, N. & Nordqvist, R., 2012: Hydrogeologisk grundvattenmodell av Enköpingsåsen mellan Femstugan och Mälaren samt bedömning av spridningsvägar från Mifo objekt, Enköpings kommun. Geosigma AB, Stockholm.
- Söderholm, H., 2010: Grundvattenförekomster i Enköpings kommun, karta och beskrivning. Serie K nr 110, Sveriges Geologiska Undersökning.
- 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.