

FoU-rapport

Lidmoränen i Berg och dess potential som grundvattenmagasin

Emil Vikberg Samuelsson, Gustaf Peterson Becher
& Virginie Leroux

april 2022

SGU-rapport 2022:07



Omslagsbild: Sondering och provtagning vid kanten av Lädjasjön
Fotograf: Gustaf Peterson Becher

Projektet har genomförts som ett internt FoU-projekt på SGU (projekt-id: 35351) under åren 2019 och 2020. Medverkande i projektet förutom författarna har varit Björn Wiberg (borrning) och Markus Lantz (fältarbete geofysik).

Författare: Emil Vikberg Samuelsson, Gustaf Peterson Becher och Virginie Leroux

Granskad av: Lars-Ove Lång, Gustav Sohlenius och Mattias Gustafsson

Ansvarig enhetschef: Mats Wallin

Redaktör: Johan Sporrang

Sveriges geologiska undersökning

Box 670, 751 28 Uppsala

tel: 018-17 90 00

e-post: sgu@sgu.se

www.sgu.se

INNEHÅLL

Introduktion	4
Syfte	4
Studieområde	5
Bakgrund	7
Smålands kvartärgeologiska utveckling	7
Moräntäckta sediment i lidmoräner	9
Resultat från tidigare undersökningar	10
Metod	11
Val av områden	11
Geofysiska mätningar	11
Borrning	11
Kemiprovtagning	12
Grundvattennivåmätningar	12
Områdesbeskrivning	12
Resultat och tolkning	13
Borrningar i samhället	13
Geofysiska mätningar	15
Grundvattennivåer	19
Grundvattenbildning	21
Grundvattenkemi	21
3D-modell	22
Sammanfattande observationer och tolkning av resultaten	24
Diskussion	24
Slutsatser	25
Förslag till fortsatta studier	25
Referenser	26
Bilaga 1. Vanligtvis antagna resistivitetsvärden över några vanliga geologiska material	29
Bilaga 2. Sammanställning av tillgängliga yt- och grundvattenkemiska data från det undersökta området i samhället Berg	30

INTRODUKTION

Sydöstra Sverige upplevde under perioden 2016 till 2018 historiskt låga grundvattennivåer, vilket utsatte vattenförsörjningen i södra Sverige, inte minst de sydöstra delarna, för en stor prövning. Flera kommuner var tvungna att införa bevattningsförbud och i vissa fall har nya eller utökade vattentäkter blivit aktuella. Behovet av geologisk kunskap och information ökar då undersökningar för nya eller utökade vattentäkter behöver genomföras vilket ledde till regeringens särskilda satsning på grundvatten genom ökad information om bland annat Sveriges grundvattentillgångar, geologiska 3D-modeller och nivåövervakning (SGU 2020). De sydöstra delarna av Sverige förväntas, i och med klimatförändringarna, få en minskad grundvattentillgång främst genom en minskad grundvattenbildning samt att känsligheten ökar då det blir en längre period utan grundvattenbildning (Vikberg m.fl. 2015).

De grundvattenmagasin som främst används för den kommunala dricksvattenförsörjningen ligger i isälvsavlagringar såsom rullstensåsar eller deltan. Isälvsavlagringar består av sorterad sand eller grus, kan innehålla stora mängder grundvatten och är genomsläppliga vilket gör det lätt att ta ut stora mängder grundvatten. Isälvsavlagringar är vanligt förekommande i Sverige och vanligtvis är samhällen belägna på eller i närheten av dessa vilket innebär att möjligheterna till att förse samhället med dricksvatten från grundvatten vanligtvis är god. I ett område i de centrala delarna av Småland, kring Växjö, är dock förekomsten av större grundvattenmagasin i isälvsavlagringar mindre än i andra delar av landet. Det är därför av intresse att undersöka om det finns andra geologiska avsättningar med sorterad sand eller grus, vilka normalt inte undersöks som grundvattenmagasin, skulle kunna utgöra större grundvattentillgångar. Sådana potentiella grundvattenmagasin skulle kunna vara av betydelse för vattenförsörjningen. Utöver att användas inom den kommunala vattenförsörjningen, skulle de även kunna fungera som ett komplement (reservvatten eller nödvatten) till den ordinarie vattenförsörjningen eller i den enskilda vattenförsörjningen.

Sorterat grus och sand har ställvis observerats i jordlager dolda av ett övre lager morän, ofta bevarat från tidigare inlandsisar. Sådana avlagringar är därför intressanta inom forskningen om Sveriges geologiska historia (se till exempel Möller & Murray 2015). Kunskapen om sorterade sediment (sand och grus) som ej utgörs av typiska rullstensåsar och deltan utan i stället överlagras av morän har länge varit kända i Småland. Dessa har dock aldrig i någon större utsträckning blivit utredda som potentiella grundvattenmagasin.

Genom att använda SGU:s metod för grundvattenkartläggning, som vanligtvis används för isälvsavlagringar, och applicera den på andra geologiska bildningar kan vi utvärdera deras potential som grundvattenmagasin. SGU:s metod går ut på att använda geofysiska mätningar, borrhiningar och informationsinsamling i fält så som nivåmätning, brunn- och källinventering. Vidare görs sammanställningar av befintliga uppgifter om jordlagerföljder och grundvattennivåer för att kunna göra en bedömning över grundvattenmagasinens utbredning samt möjligheter till grundvattenuttag.

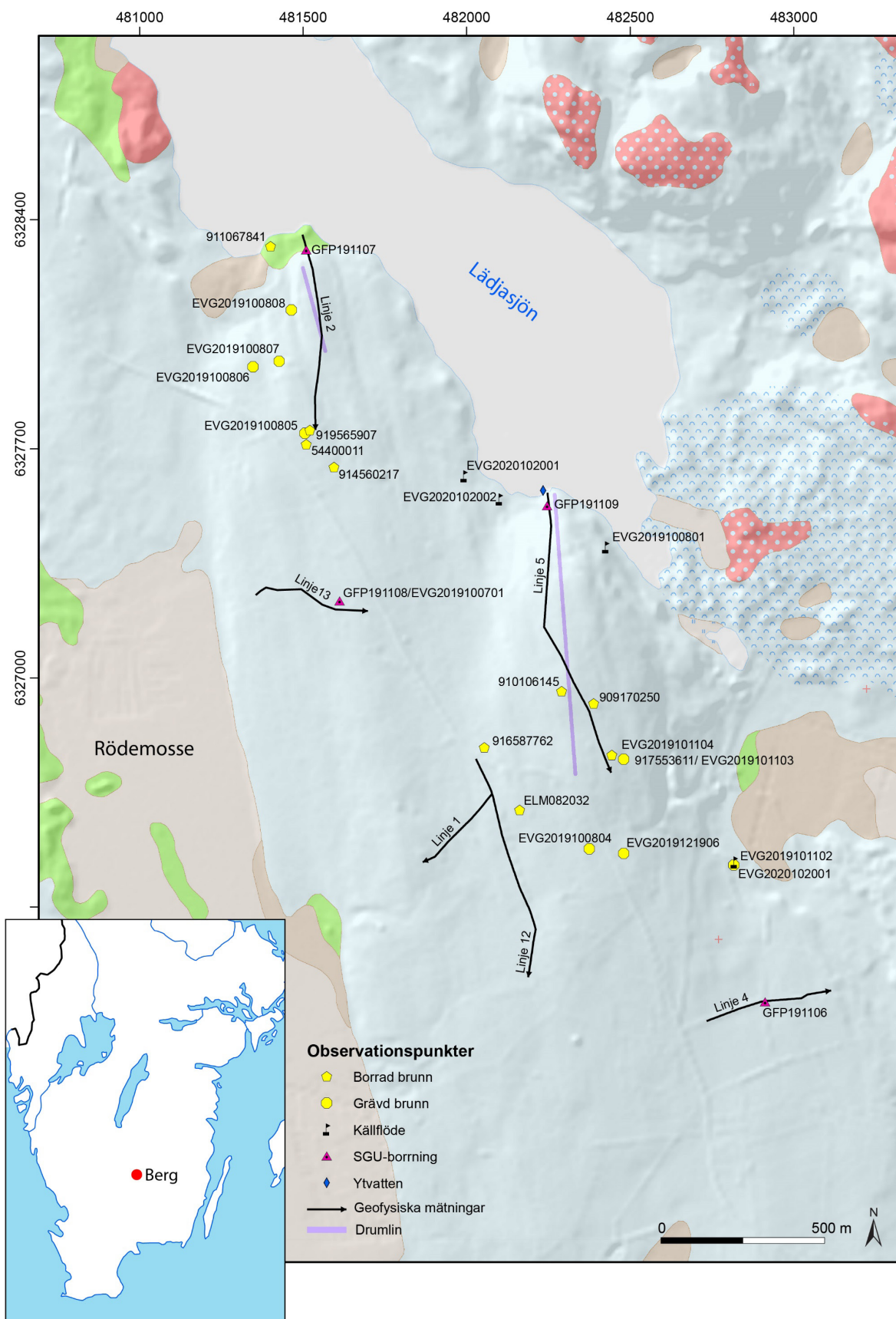
Syfte

Syftet med denna rapport är att undersöka om det finns geologiska bildningar i ett område norr om Växjö, förutom typiska isälvsavlagringar och deltan, som kan utgöra betydande grundvattenmagasin.

Studieområde

I denna studie har vi fokuserat på en typ av geologisk bildning som uppvisar intressanta egenskaper som potentiella grundvattenmagasin; nämligen stora drumliner, eller så kallade lidmoräner (hädanefter benämns dessa som lidmoräner). Dessa bildningar är generellt några kilometer breda, knappt 10 km långa och flera tiotal meter höga. Lidmoränerna ligger som stora limpor av sediment i landskapet och är strömlinjeformade och utsträckta i den forna inlandsisens riktning och ofta ser man andra mindre drumliner på dessa former. Lidmoräner är en vanlig landform i Småland, ett område som generellt har en lägre förekomst av större grundvattenmagasin i isälvsavlagringar. Dessa bildningar har observerats innehålla betydande mängder sorterade sediment (sand och grus) (se till exempel Möller & Murray 2015, Fredholm 1875, Hummel 1877, Rydström 1971, Harald Agrell pers. kom.).

Studieområdet Berg är beläget cirka 22 km norr om Växjö i Växjö kommun (fig. 1). Det utgörs av en lidmorän belägen mellan Lädjasjön i norr och Rödemosse i väster. Området valdes ut på grund av uppgifter om stora jordmaktigheter, samt att den kommunala vattenförsörjningen i området har haft problem med både tillgången och kvaliteten på grundvattnet.



Figur 1. Studieområdet kring samhället Berg, inklusive insamlad information. Jordartskarta i bakgrunden (Blå = Morän, Grön = Isälvsmaterial, Röd = Berg, Brunt = Torv).

Bakgrund

Inom den allmänna dricksvattenförsörjningen i Sverige står uttagen av grundvatten för cirka 50 % (cirka 25 % rent grundvatten, 25 % konstgjort grundvatten). Därtill baseras nästan uteslutande den enskilda vattenförsörjningen på grundvatten från enskilda grävda eller borrhälsbrunnar samt kalkkällor. Endast cirka 18 % av den enskilda vattenförsörjningen har ett dricksvatten som är tjänligt utan anmärkning, cirka 68 % tjänligt med anmärkning och cirka 15 % har ett otjänligt dricksvatten (Sverigesmiljömål.se 2020). I statistiken syns inte eventuella problem med mängden och tillgången på grundvatten. Ett flertal kommuner i södra Sverige införde bevattningsförbud under torråren 2016–2018 och framför allt under sommaren 2018, bland annat ett antal kommuner i Kronobergs, Jönköpings och Kalmar län.

SGU:s kartläggning av grundvattenmagasin är till största delen inriktat mot att kartlägga grundvattenmagasin i de större isälvsavlagringarna samt även i den sedimentära berggrunden (exempelvis Öland, Gotland, Skåne och Östergötland). Endast i enstaka fall har grundvattenmagasin utöver rena isälvsavlagringar eller sedimentär berggrund kartlagts, till exempel israndlägen såsom Fjärås bräcka och Råda ås (Lång & Lind 2018, Persson 2013) där det omväxlande finns isälvsediment och morän med en komplex sammansättning. Dessa grundvattenmagasin bedöms ha en stor potential för grundvattenuttag och fungerar eller har fungerat som vattentäkter.

Förekomsten av isälvsmaterial såsom rullstensåsar och deltan är hög i stora delar av landet, dock finns det i vissa områden, av naturliga orsaker, färre eller mindre isälvsavlagringar på grund av inlandsisens egenskaper vid avsmältningen. I regioner med färre eller mindre isälvsavlagringar är det speciellt viktigt att även kunna studera alternativa grundvattenmagasin. I tider av torka på grund av de klimatförändringar som vi står inför kommer belastningen på grundvattenresurserna att öka (Vikberg m.fl. 2015). Behovet av att kunna hitta potentiella grundvattenresurser som kan fungera som ett komplement, eller till och med en ersättning, till befintliga grundvattenresurser med osäker tillgång eller kvalitet kommer troligtvis att öka i framtiden.

Smålands kvartärgeologiska utveckling

I detta avsnitt redogör vi kort för den kvartärgeologiska historien inom studieområdet. Vår förhoppning är att redogörelsen ska fungera som en bakgrund för beskrivningen av de studerade lokalerna och deras geologiska uppbyggnad.

Kvartär är den nuvarande geologiska perioden och inleddes för 2,58 miljoner år sedan (Cohen m.fl. 2013) och är sedan indelad i två epoker, pleistocen och holocen. Pleistocen representerar tiden med inlandsis och holocen tiden efter. Under pleistocen har så många som 40 inlandsisar täckt hela eller delar av Sverige (Mangerud m.fl. 1996). Trots alla dessa nedisningar, vilka en del inte ens lämnade fjällkedjan, finns det få lämningar i form av sediment och landformer från tidigare nedisningar.

Vid nedisning avsätter inlandsisen morän (under och framför isen) och vid perioder med isavsmältning avsätts sorterade jordarter (såsom sand, grus, silt och lera) (se Karlsson m.fl. 2021 för ytterligare information). Närmast inlandsisen ansamlas sand och grus (isälvsavlagringar) som spolas fram av smältvatten under isen, finare sediment såsom lera och silt avsätts i stillastående vatten framför inlandsisen. Detta betyder förenklat att en komplett lagerföljd (nerifrån och upp) i ett område med spår av endast en inlandsis har en morän i botten, överlagrad av sorterade sediment (intressant ur grundvattensynpunkt) och sedan torv. Om det i stället finns spår av två nedisningar skulle en sådan lagerföljd, om komplett, innehålla morän i botten (avsatt av den äldre nedisningen), sedan sorterade sediment (avsatta i stillastående vatten och av forsande isälvar) och överst ytterligare en morän (avsatt av den yngre nedisningen) och överst sorterade sediment. Vanligtvis eroderas och omlagras de landformer och sediment som avsattes av varje efter-

kommande nedisning. Sediment och landformer från tidigare nedisningar och isfria perioder kan dock ställvis vara bevarade på grund av deras position i landskapet eller de egenskaperna som inlandsisen uppvisade vid den senaste nedisningen.

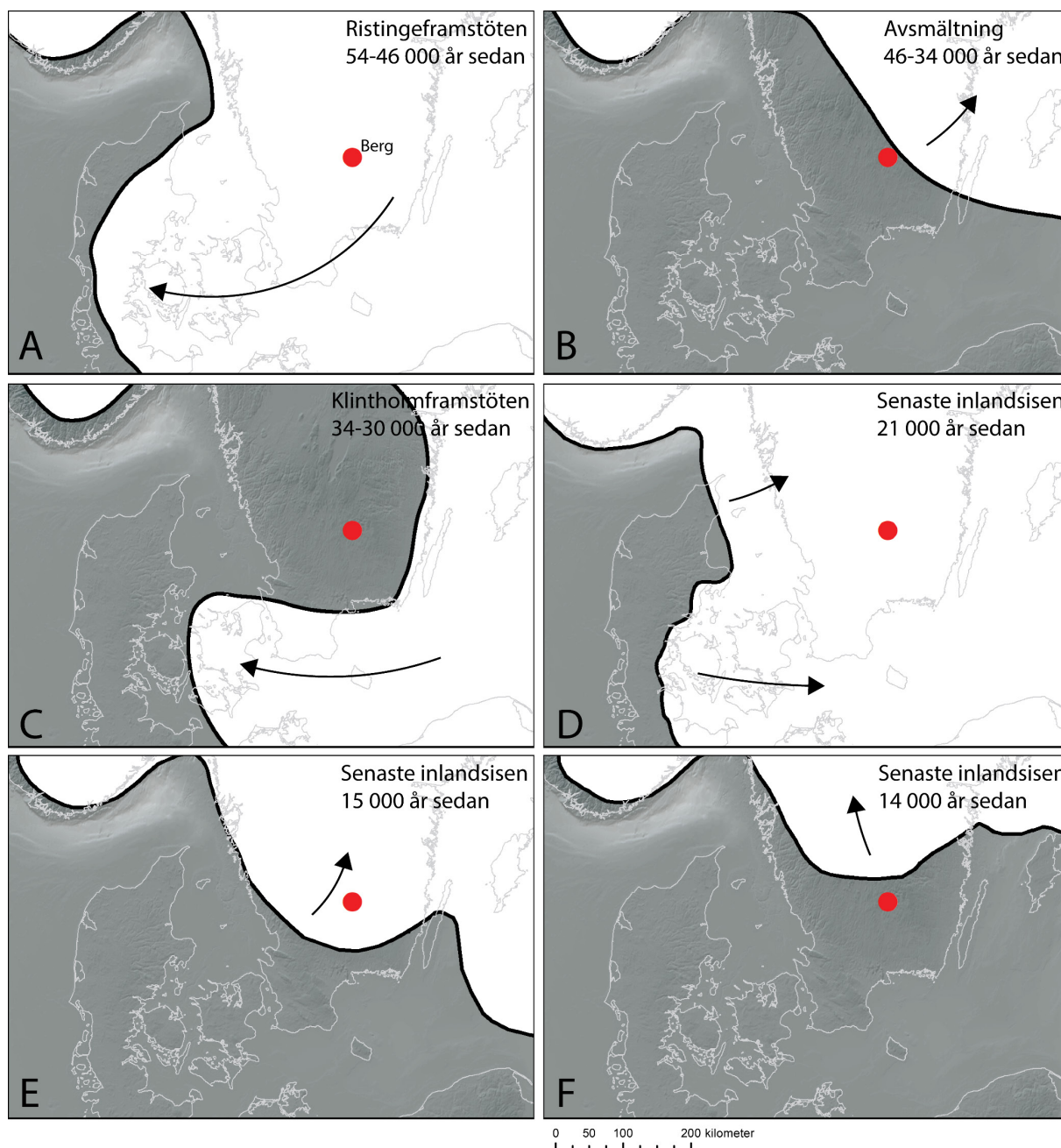
Bevarade äldre landformer och sediment från tidigare nedisningar förekommer vanligast i norra Sverige, och kopplas där till en närmast obefintlig erosion under de två senaste nedisningarna på grund av att isen varit bottenfrusen (se till exempel Kleman 1994, Lagerbäck 1988). I södra Sverige är förekomsten av äldre sediment inte allmänt förekommande men i delar av Småland finns flera beskrivna lokaler med äldre sorterade sediment som överlagras av morän (se till exempel Fredholm 1875, Hummel 1877, Möller 2010, Lehmdahl 2013, Alexanderson 2010, Peterson m.fl. 2018, Lagerbäck 2018)

Den senaste nedisningen, som benämns Weichselnedisningen, startade för cirka 115 000 år sedan (Andrén m.fl. 2011) och kan delas in i tre kallare perioder där de två mest omfattande inträffade för 75 000–60 000 år (MIS 4) sedan samt för 22 000–11 500 år sedan (MIS 2) (Houmark-Nielsen 2010). Perioderna kan delas in i så kallade syreisotopstadier, MIS (eng. *Marina Isotope Stage*) där udda nummer anger en varm period och jämna nummer en kall period. Vi använder här den terminologin för att förklara inlandsishistorien i södra Sverige och som har haft stor inverkan på den geologiska uppbyggnaden i studieområdet Berg. Under den senare delen av kallperioden MIS 4 växte inlandsisen och nådde ned till Danmark (Ristinge-fasen) (fig. 2A) (Houmark-Nielsen 2010, Möller m.fl. 2020). Klimatet blev varmare under MIS 3 och inlandsisen smälte av (fig. 2B) och drog sig tillbaka så långt upp som till fjällkedjan innan den för cirka 35 000 år sedan avancerade söderut (Wohlfarth 2010). För ungefär 30 000 år sedan hade isen ytterligare en gång nått Danmark (Klintholm-fasen) (fig. 2C) (Houmark-Nielsen 2010). Innan inlandsisen nådde sitt maximum i Tyskland, för ungefär 21 000 år sedan (Hughes m.fl. 2016, Stroeve m.fl. 2016), smälte den av och delar av Skåne var då isfria under ytterligare en kort tid.

När inlandsisen slutligen smälte av från sin maxutbredning (fig. 2D) blev södra Sverige återigen isfritt. Den första delen som blev isfri var Kullenhalvön i Skåne för ungefär 17 000 år sedan (Anjar m.fl. 2014). Iskanten förflyttade sig först österut genom Skåne och började senare vrida sig för att fortsätta norrut (fig. 2). De södra delarna av Småland blev isfritt för ungefär 16 000 år sedan (Anjar m.fl. 2014, Stroeve m.fl. 2016). Ungefär vid denna position låg iskanten still en tid på grund av en kallperiod cirka 60 km söder om Berg.

Strax efter 15 000 år sedan blev klimatet varmare (Bølling-Allerød) och isen började röra sig norrut igen (fig. 2E) (Stroeve m.fl. 2016). Iskanten fortsatte röra sig norrut för att göra en isframstöt i höjd med Vimmerby, cirka 70 km norr om Berg, för cirka 14 500 år sedan (Johnsen, Alexanderson, Fabel & Freeman 2009), den så kallade Vimmerbylinjen (Agrell, Friberg & Oppgård 1976).

Studieområdet blev isfritt någon gång mellan 16 000 och 14 500 år sedan. Inlandsisen fortsatte sin avsmältning (fig. 2F) och stannade till vid Billingen i Västergötland på grund av kallperioden Yngre Dryas för 12 800 år sedan. När klimatet senare blev varmare, för 11 700 år sedan, smälte inlandsisen och även om istidens slutskede är osäkert var troligtvis inlandsisen borta för ungefär 9 500 år sedan (Regnell, Mangerud & Svendsen 2019).



Figur 2. Södra Sverige med isframstötter och avsmältningar, från 54–14 000 år sedan. Modifierad från Möller m.fl. 2020 (A–C) och Stroeve m.fl. 2016 (D–F).

Moräntäckta sediment i lidmoräner

Deglaciationshistorien har påverkat utbredningen av jordarter och landformer i regionen.

I Småland finns ställvis sorterade sediment som överlagras av morän. Dessa områden har alltså blivit avsatta under en tidigare avsmältning av inlandsisen. De sorterade sedimenten har sedan överlagrats av morän och förekommer nu som moräntäckta sorterade sediment, ofta i lidmoräner. En konsekvens av detta är att mark med morän på ytan, kan dölja lager av sorterade sediment på djupet.

Lidmoräner är stora landformer 1–4 km i längd, 10–30 m höga och runt 1 km breda. Lidmoränerna är orienterade parallellt med isrörelseriktningen. Ställvis har det i dessa landformer påvisats sorterade sediment som kärnor, under ett lager av morän. Både äldre och nyare undersökningar har visat att det finns moräntäckta sediment i Småland varav flera finns i just lidmoräner

(Fredholm 1875, Hummel 1877, Möller 2010, Möller m.fl. 2020, Rydström 1971, Daniel 1989, Länsstyrelsen i Kronobergs län 1970). Statsgeolog Harald Agrell (opublicerade manuskript 2002 och 1978) har gjort en genomgång över möjliga områden med moräntäcka sediment och bedömt möjligheten om de kan utgöra grundvattenmagasin. Totalt identifierade Agrell 27 lokaler där möjlighet till potentiella grundvattenmagasin finns, där flertalet är i lidmoräner.

Det har genomförts kvartärgeologiska undersökningar i flera av de lokaler som Agrell identifierade genom detaljerade sedimentologiska studier och dateringar av sediment, både i borrhningar och grävningar (Möller & Murray 2015). Möller och Murray (2015) föreslår utifrån åldersbestämningen av de sediment som återfinns att de sorterade sedimenten i dessa lidmoräner troligen avsattes före den senaste nedisningen, under MIS 3, för ungefär 60 000–30 000 år sedan (ungefär figur 2B & C) (Möller m.fl. 2020). När den senaste nedisningen senare avancerade eroderades delvis sedimenten och lidmoränerna formades och täcktes av morän (Möller & Murray 2015).

Det finns ett fåtal exempel på områden där moräntäckta sediment har tillräcklig kapacitet och en genomsläpplighet som möjliggör större uttag av grundvatten. Ett sådant exempel är Rydaholms vattentäkt (Värnamo kommun) som är belägen i ett område med moräntäckta sediment och försörjer samhället med dricksvatten (VIAK 1957, 1959, 1975, 1976). I lidmoräner vid Rydaholm finns observationer av moräntäckta sorterade sediment (Möller & Murray 2015). Utredningar avseende grundvattenförhållanden visar att det finns sorterade sediment under en mindre genomsläpplig morän med en mäktighet på 5–10 m. Vattentäkten ligger i utkanten av lidmoräner i ett utströmningsområde där grundvatten naturligt strömmar ut, cirka 4,5 l/s vid opåverkade förhållanden. Vattentäkten har provpumpats och resultaten visade på ett slutet grundvattenmagasin där grundvattenbildningen sker från den överlagrande moränen. Värdena på transmissiviteten $7 \cdot 10^{-4}$ m/s vilket motsvaras av sand/mellansand-finsand och antyder att de grovkorniga sedimenten som påträffades är förhållandevis dåligt sorterade (VIAK 1975).

Resultat från tidigare undersökningar

Vattenförsörjningen till samhället Berg baseras på borrhade brunnar i berggrunden och det har under årens lopp använts ett flertal olika brunnar då grundvattenkvaliteten har haft en tendens att försämrats över tid. Det har tidigare genomförts undersökningar för den kommunala vattenförsörjningen i området (tabell 1, Backö 1981, Mark & Vatteningenjörerna AB 1995, 1997a, 1997b, 2004). År 1980 genomfördes en undersökning av de sand- och grusavlagringar som ligger öster om samhället Berg, i närheten av källutflöden samt en samfällid grävd brunn. Undersökningarna visade att det finns sand och grus i området och att grundvattnets strömningsriktning är riktad mot öster. Enligt utredningen bör det finnas möjligheter till att anlägga ytterligare en brunn som ger tillräckligt med vatten för att kunna försörja samhället (tabell 1, Backö 1981).

Vid etablering av en bergborrad brunn väster om Berg påträffades sorterade sediment under 25 m morän (tabell 1, Mark & Vatteningenjörerna AB 1995). De sorterade sedimenten var totalt cirka 10 m mäktiga och låg på 0,5 m rösberg ovan berg (granit). Undersökningen visade på tre olika lager av sorterade sediment där det övre, med en mäktighet på 5 m, gav mycket vatten men hade en lukt av svavelväte. Det mellersta lagret hade en mäktighet på 3 m med en del skikt av lera och dåligt flöde. Det understa lagret gav mycket vatten och hade bra lukt (tabell 1, Mark & Vatteningenjörerna AB 2004).

Utöver detta har det även genomförts en undersökning för att undersöka halterna av kväve och fosfor i grundvattnet, bland annat har enskilda brunnar provtagits för att utreda förekomsten av dessa grundämnen i grundvattnet och orsaken till halterna i dricksvattnet (tabell 1, Mark & Vatteningenjörerna AB 1997b).

Grundvattnet har visat sig innehålla höga halter av ammoniumkväve vilket bildas under reducerande förhållanden. Reducerande förhållanden uppstår främst i djupa bergborrade brunnar men även i slutna jordakviferer och i anslutning till torvområden (SGU bedömningsgrunder 2013).

METOD

Inom projektet har SGU:s metodik för grundvattenkartläggning använts. Metodiken inkluderar sammanställning av befintlig information och fältundersökningar. Befintlig information har insamlats från bland annat äldre grundvattenundersökningar, SGU:s databaser såsom Brunnsarkivet och jordlagerföljder. Fältundersökningar har genomförts i syfte att komplettera befintlig information och närmare undersöka de geologiska och hydrogeologiska förhållandena. De undersökningar som har genomförts omfattar geofysiska mätningar för att undersöka jordlagrens egenskaper och utbredning, skruvbörning och sondering samt installation av grundvattenrör. Utöver dessa undersökningar genomfördes en brunnsinventering, grundvattenprovtagning och en källinventering. Den geologiska informationen som har samlats in har sammanställts och lagrats i SGU:s databaser.

Val av områden

Som underlag för urvalet användes de identifierade lokalerna med moräntäckta sediment som Agrell redogjorde för i manuskriptet från 2002. Alla potentiella områden gicks igenom och värderades utifrån befintlig information i SGU:s databaser; däribland jorddjup, lagerföljder och jordartskarta. Ytterligare intressanta områden med indikationer på moräntäckta sediment lades till vartefter de identifierades. Slutligen valdes det område med lidmorän med störst potential utifrån befintlig information kring de geologiska och hydrogeologiska förhållandena på platsen.

Geofysiska mätningar

Inom projektet har DC (Direct Current) resistivitetsmätningar (så kallade ERT-profiler) använts som den huvudsakliga geofysiska metoden. Metoden lämpar sig väl för att skilja mellan kristallint berg (som i regel uppvisar resistivitet över 1000 $\Omega\cdot\text{m}$) och kvartära avlagringar (som generellt har resistivitet upp till några 100 $\Omega\cdot\text{m}$, ibland mer om de är torra). Resistivitet minskar med stigande vattenmättnadsgrad och ler- och silthaltiga sediment har generellt sett lägre resistivitet än grov-kornigare avlagringar. Det är också känt att resistivitetsintervaller för olika material överlappar varandra (se till exempel Palacky 1988, Ward 1990) (tabell i bilaga 1), vid tolkning måste även annan information tas hänsyn till så som borrhningar och eventuell extern påverkan (till exempel kraftledningarna) på mätningarna.

Under våren 2019 mättes totalt sex resistivetsprofiler i och kring samhället Berg (fig. 1). Resistivetsprofilerna lades i öppen terräng längs grusvägar och över ängar. För alla profilerna användes gradientkonfiguration med 5 m elektroavstånd och profilernas inverterade resistivitet beräknades med mjukvaran Res2DInv (Loke 2020). Denna mjukvara förutsätter att geologin inte ändras avsevärt i riktningen som går vinkelrätt mot profilen.

Borrning

Borrhningarna insamlade som en del i detta projekt utfördes med SGU:s borrhbandvagn av typ Geotech 605. Totalt genomfördes det konventionell geoteknisk borrning vid fem platser. Alla platser skruvsonderades så långt det var möjligt för att därefter jord-berg sonderas (slag-sondering) till stopp. Under borrhningen bedömdes regelbundet sedimenten för att skapa detaljerade lagerföljder. Vid behov togs också prover för kornstorleksanalys. Det sattes ett grundvattenrör för vidare observation av grundvattennivåer och analys av grundvattenkemi.

Grundvattenröret utgörs av ett två tums järnrör med sluten spets med 1 m långt filter med filtervidd 6 mm i botten.

Det finns sedan tidigare borrhningar i området Berg. Dessa är främst brunnsborrningar för energiutvinning från berggrunden eller för enskild vattenförsörjning. I SGU:s databaser (Brunnsarkivet) finns jorddjup och jordlagerföljder från brunnsborrningarna registrerade. De jorddjup som registreras vid brunnsborrningarna kan anses vara säkra medan lagerföljderna generellt anses osäkra. Dock kan vissa av lagerföljderna bedömas vara mer användbara i den geologiska tolkningen i området, men det kräver en bedömning från fall till fall. SGU har utifrån kunskapen om jordlagerföljder i området och generell kunskap om lidmoräners uppbyggnad gjort omtolkningar av vissa av lagerföljderna från de brunnsborrningar som har genomförts.

Kemiprovtagning

Totalt har provtagning för analys av grundvattenkemin genomförts vid sju platser; ett grundvattenrör, tre grävda brunnar, en borrhad brunn, ett källflöde samt ett prov på ytvattnet i Lädjasjön. Förutom provtagningen har äldre analyser över grundvattenkemin från tio platser från både grävda och borrhade brunnar i jord och berg samlats in och sammanställts. Totalt har 20 analysresultat över grundvattenkemi och ett analysresultat på ytvatten ingått (bilaga 2). Kemianalyser har använts för att se om olika typer av grundvattenmagasin har olika grundvattenkemi.

Grundvattennivåmätningar

Mätning av grundvattennivåer har skett både i grundvattenrör och i grävda samt borrhade brunnar. Förutom manuella mätningar av grundvattennivåerna har det på en plats installerats en automatisk nivåmätare som kontinuerligt skickar data till SGU och ingår i SGU:s program för övervakning av grundvattennivåer. Dessutom installerades ytterligare fyra automatiska nivåmätare för att mäta grundvattennivåerna under perioden oktober 2019–oktober 2020.

OMRÅDESBESKRIVNING

Samhället Berg är beläget cirka 22 km norr om Växjö. Området består av två parallella lidmoräner som löper i en nordnordväst–sydsydvästlig riktning från Lädjasjön i norr och cirka 3 km söderut. Lidmoränerna är cirka 1,4 km breda. Området avgränsas i väster av Rödamossen, i norr av Lädjasjön, mot öster av både Lädjasjön och Ingelstorpåån samt den torvmark som ligger öster om Bergs bygdegård. Områdets högsta punkt är belägen cirka 220 m ö.h. och höjer sig cirka 33 m över Lädjasjöns yta. Rödemossen i väster är beläget cirka 202 m ö.h. och torvmarken i öster cirka 179 m ö.h.

Jordarterna i området består till ytan främst av morän och torv. Som nämnts ovan är det inte ovanligt att det i lidmoräner ställvis förekommer sorterade sediment. Väster om Rödemossen finns det en mindre isälvsavlagring som löper i nordnordväst–sydsydöstlig riktning. Det finns inget, av SGU, avgränsat grundvattenmagasin i isälvsavlagringen. Förutom isälvsavlagringen i väster finns det några mindre områden med isälvsmaterial i direkt anslutning till lidmoränen i de norra, västra och östra delarna av området. Väster om lidmoränen finns det ett större område med torv, Rödemossen. Enligt uppgifter är torvens medelmåktighet cirka 3,5 m (SGU:s torvarkiv). Dessutom finns det ett område med torv öster om lidmoränen.

Ytvattnets dränering sker från Lädjasjön via Ingelstorpåån till Bergasjön och vidare till Helgasjön i söder. Samhället Berg försörjs idag av både enskilt och kommunalt dricksvatten. Den enskilda dricksvattenförsörjningen sker både genom borrhade och grävda brunnar. Den kommunala dricksvattenförsörjningen sker genom borrhade brunnar i berggrunden.

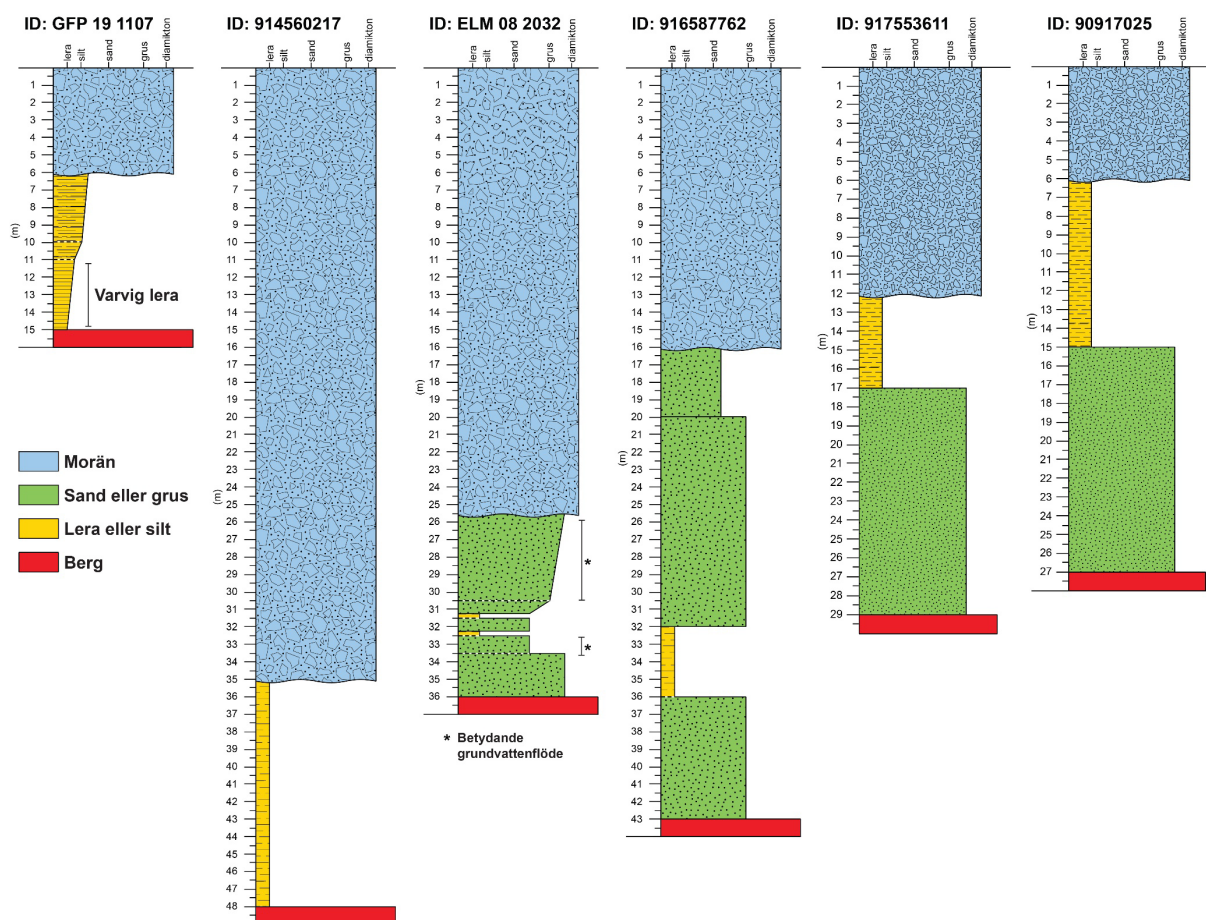
RESULTAT OCH TOLKNING

Nedan beskrivs de resultat och tolkningar som finns från de undersökningar som gjorts i Berg som en del i framtagandet av denna rapport. Först beskrivs det lagerföljder som samlats in och de tolkas tillsammans med tidigare insamlade lagerföljder. Efter det beskrivs de geofysiska mätningarna samt den tolkning som gjorts av desamma.

Borrningar i samhället

Resultat

Baserat på den information som finns i SGU:s databaser är det tydligt att det finns mäktiga lager av sorterade sediment (sand, grus, lera) under den i ytan liggande moränen. Mäktigheten på moränen varierar mellan ett par meter upp till 25 m (ELM082032, fig. 1 & fig. 3). I en av de borrningar som utfördes som en del av detta projekt observerades varvig lera och silt under morän (GFP191107, fig. 1 & fig. 3), dock påträffades inget grovkornigare material. Ytterligare försök på flera platser gjordes för att ta sig genom den övre moränen, utan framgång. Detta beror till stor del på SGU:s borrbandsvagn som inte är avsedd för borrning eller sondering genom morän. De observerade jordmäktigheterna uppgår som mest till 49 m i den nordvästra delen av området, i samhället Berg uppgår jordmäktigheten till mellan 30 och 40 m.



Figur 3. Urval av lagerföljder från SGU:s databaser samt under projektet insamlad information (GFP191107). Lagerföljdernas lägen finns i figur 1. Metadata finns i tabell 1.

Tolkning av jordarternas avsättning

Tolkningen, utifrån de borrhningar som gjorts i området, är att det finns ett ytlager av morän som överlagrar två typer av sorterade sediment. Moränen i ytan antas tillhöra den senaste nedisningen. Under den ligger ett övre lager med finkornigare sorterade sediment, så som lera och silt, men där inblandning och skikt av grövre sediment som sand och grus kan förekomma. Baserat på den finkorniga sammansättningen samt observationerna av varvig lera bedömer vi att dessa övre sediment kan ha bildats i en issjö, dämmd mellan inlandsisens front och högre liggande terräng. I de fall där grövre sediment dokumenterats tolkas de som tecken på tillfälligt ökade smältvattenflöden eller oscillationer vid isfronten. Under det övre sedimentlagret bedöms det finnas ett mer grovkornigt lager av sorterade sediment så som sand och grus, men där det kan förekomma inblandning av något finkornigare sediment. Detta undre lager tolkar vi som bildat närmre iskanten, i höga smältvattenflöden. De båda lagren behöver därför inte vara kontinuerliga i hela området, utan det kan förekomma delar där det förutom morän bara förekommer ett eller inget av lagren med sorterade sediment. Övergången mellan lagren av sorterade sediment är inte heller skarp utan övergången kan ske gradvis. Baserat på förändring i kornstorlek, från grövre i botten till finare högre upp, bedömer vi att materialet avsatts under deglaciationen efter Ristinge-framstötten (fig. 2). Detta baseras på idén att grövre material avsatts nära inlandsisen (mer energi i vattnet) och när den drar sig tillbaka avsatts finare sediment (lägre energi i vattnet), kanske också i dämnda issjöar. För att med säkerhet kunna bestämma när dessa sediment avsatts behövs ytterligare studier av lagerföljderna, inklusive absoluta dateringar.

Tabell 1. Tabell med insamlad information, ursprung och typ.

Databas-ID	Ursprung	Referens	Typ	Befintlig information	Insamlad information
EVG2019101101	Fältobservation		Ytvatten		Vattennivå, kemianalys
EVG2019100701/ GFP191108	SGU-borrning		Skruvsondering, Grundvattenrör		Lagerföljd, grundvattennivå, kemianalys
GFP191107	SGU-borrning		Skruvsondering		Lagerföljd
GFP101109	SGU-borrning		Skruvsondering		Lagerföljd
GFP191106	SGU-borrning		Skruvsondering		Lagerföljd
EVG2020102002	Källinventering		källflöde		
EVG2020102001	Källinventering		källflöde		
EVG2019100802	Källinventering		Källflöde		
EVG2020102001	Källinventering		Källflöde		Kemianalys
EVG2019101104	Brunnsinventering		Grävd brunn		Grundvattennivå
EVG2019101102	Brunnsinventering		Grävd brunn		Grundvattennivå, kemianalys
EVG2019100808	Brunnsinventering		Grävd brunn		Grundvattennivå
EVG2019100807	Brunnsinventering		Grävd brunn		Grundvattennivå, kemianalys
EVG2019100806	Brunnsinventering		Grävd brunn		Grundvattennivå
EVG2019100805	Brunnsinventering		Grävd brunn		Grundvattennivå, kemianalys
EVG2019100804	Brunnsinventering		Grävd brunn		Grundvattennivå, kemianalys
EVG2019100801	Brunnsinventering		Grävd brunn		Grundvattennivå, kemianalys
ELM082032	SGU-databas	Mark & vatten- ingenjörerna AB 1995	Borrad brunn	Lagerföljd, grundvattennivå, kemianalys	
917553611/EVG2 019101103	SGU-databas	Brunnsarkivet	Borrad brunn	Lagerföljd	Grundvattennivå, kemianalys

914560217	SGU-databas	Brunnsarkivet	Borrad brunn	Grundvattennivå
916587762	SGU-databas	Brunnsarkivet	Borrad brunn	Grundvattennivå
EVG2019121907	SGU-databas	Mark & vatten- ingenjörerna AB 1997b	Grävd brunn	Grundvattennivå
EVG2019121903	SGU-databas	Mark & vatten- ingenjörerna AB 1997b	Grävd brunn	Grundvattennivå
EVG2019121901	SGU-databas	Mark & vatten- ingenjörerna AB 1997b	Grävd brunn	Grundvattennivå
EVG2019121902	SGU-databas	Mark & vatten- ingenjörerna AB 1997b	Grävd brunn	Grundvattennivå
EVG2019121905	SGU-databas	Mark & vatten- ingenjörerna AB 1997b	Grävd brunn	Grundvattennivå
EVG2019121906	SGU-databas	Mark & vatten- ingenjörerna AB 1997b	Grävd brunn	Grundvattennivå
Provgrop1	SGU-databas	Backö 1981	Provgrop	Lagerföljd
Provgrop2	SGU-databas	Backö 1981	Provgrop	Lagerföljd
Provgrop3	SGU-databas	Backö 1981	Provgrop	Lagerföljd
Provgrop4	SGU-databas	Backö 1981	Provgrop	Lagerföljd
Provgrop5	SGU-databas	Backö 1981	Provgrop	Lagerföljd
919565907	SGU-databas	Brunnsarkivet	Borrad brunn	Lagerföljd

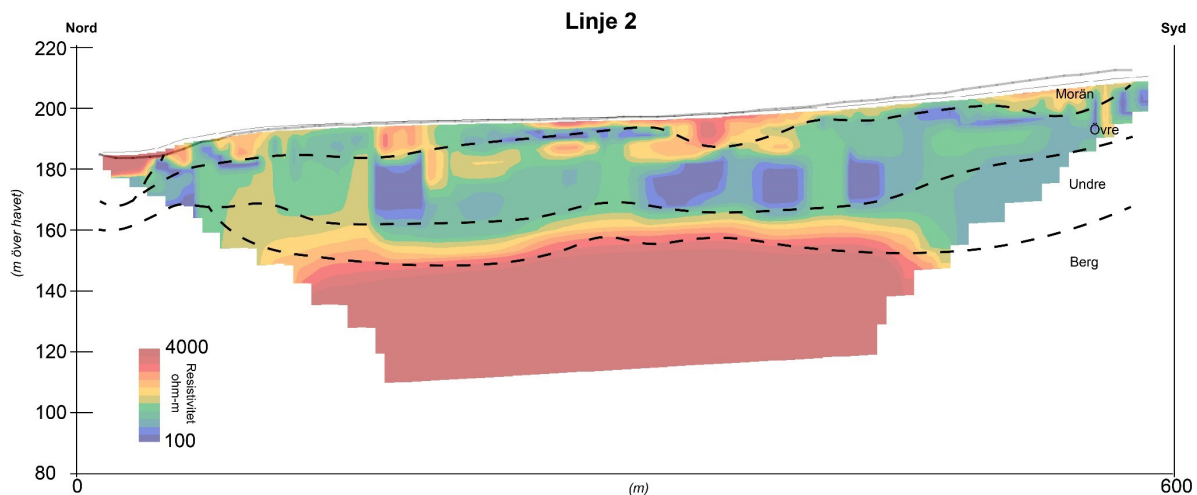
Geofysiska mätningar

Resultatet av resistivitetsmätningarna ges som en sektion genom marken som visar variationen av jordlagrens beräknade (uppmätta) resistivitet i enheten $\Omega \cdot m$ i en logaritmisk färgskala. Färgskalan går från blått till rött där blått innebär en låg resistivitet vilket kan tolkas som vattenmättade jordlager eller finkornigare jordarter. Rött innebär en högre resistivitet vilket kan tolkas som torra jordlager, grovkorniga jordarter, större block eller berggrund. För att säkert kunna tolka resultaten av resistivitetsmätningarna krävs observerade jordlagerföljder från borrhningar. I de fall där det finns borrhningar i anslutning till resistivetsprofilerna har dessa använts i tolkningen. Nedan beskrivs de insamlade geofysiska mätningarna i tur och ordning.

Linje 2

Resistivetsprofilen 'Linje 2' är belägen i den nordvästra delen av området, Söreskog (fig. 4, fig. 1). Profilen sträcker sig från norr till söder. I den norra delen har isälvsmaterial observerats på ytan, och GFP191107, som borrades vid norra delen visar på grusig morän som överlagrar finkorniga sorterade sediment (fig. 3). Information från Brunnsarkivet visar på en jorddjupsmäktighet på cirka 20 m (911067841, tabell 1).

Tolkningen av resistivitetsmätningen är att det finns ett övre lager av grusig morän, cirka 5–10 m mäktigt, och som i den översta delen är torr. Under moränen finns ett ställvis mäktigare lager av finkorniga sediment (silt och lera, 10–20 m mäktigt) och som i sin tur överlagrar ett mer genomsläppligt lager av grövre sediment med mindre mäktighet (5–10 m). Det undre lagret är inte kontinuerligt längs profilen. Jordmäktigheten tolkas att ställvis vara uppemot 40 m (919565907, tabell 1) vilket även observerats i brunnsborrningar söder om resistivetsprofilen (919565907, tabell 1).



Figur 4. Resistivetsprofilen 'Linje 2' med inritade streck för tolkad geologi.

Linje 5

Resistivetsprofilen 'Linje 5' är belägen i den norra delen av den östra delen av lidmoränen, norr om samhället Berg (fig. 5, fig. 1). Profilen sträcker sig från norr till söder mellan Lädjasjön och Bergs samhälle. Profilen passerar studieområdets högsta punkt.

På samma sätt som för 'Linje 2' tolkas även här ett tunnare lager av morän som översta lager (cirka 5–10 m mäktigt). En borrhning (GFP191109) i den norra delen av profilen visade på sandig diamikton till 5 m djup. Borrhningen avslutades på grund av att det inte var möjligt att fortsätta borra för att jordlagren var för steniga. Det översta lagret kan ställvis vara torrt (hög resistivitet). Dessutom indikerar resistiviteten (låg resistivitet) att det kan finnas partier med blötare eller finkornigare jordarter som lättare håller vatten, vilket gör det svårare att skilja mellan de två sedimentlagren.

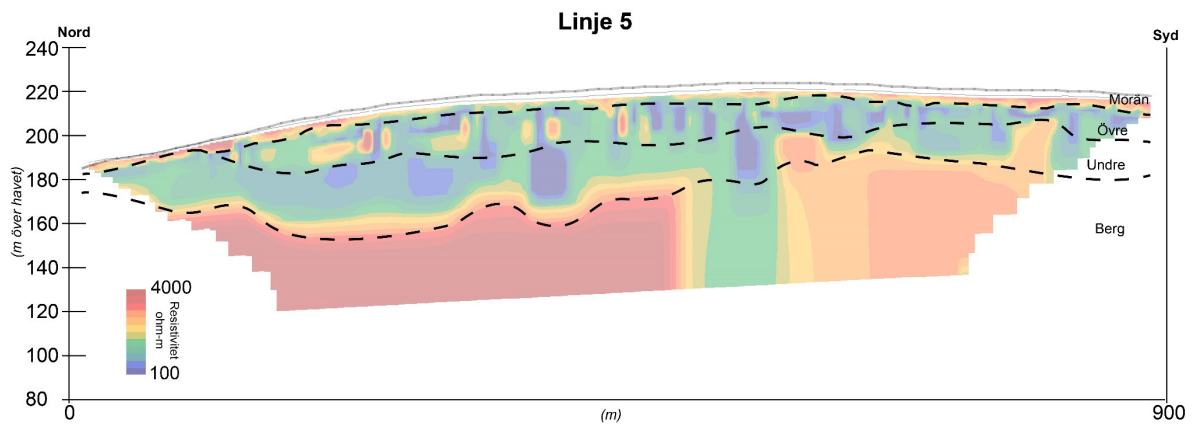
Från cirka 120 m längs profilen i södergående riktning bedöms det finnas ett lager av finkornigare sediment (silt eller lera) som möjligtvis kan innehålla ett fåtal större block.

En borrhning (ID 909170250) ger en lagerföljd med cirka 6 m morän därefter cirka 9 m lera och därefter 12 m grus till 27 m, avslut i jord (nådde ej berg).

Ytterligare en borrhning (ID 910106145) visar på ett övre lager av jord, grus och sten (kan tolkas som morän) till 3 m och sedan omväxlande lera, grus ner till berg på 36 m.

Utifrån resistivetsmätningarna och befintliga lagerföljder bedöms det övre sedimentlagret vara cirka 10–15 m mäktigt och det undre sedimentlagret cirka 10–30 m mäktigt.

Bergöverytan bedöms stiga mot söder för att sedan plana ut eller sjunka något. Dock finns det ett område med lägre resistivitet från 500–600 m, detta kan antas bero på extern påverkan vid mätningarna. Tolkningen är dock att berggrunden är relativt jämn med en svag stigning mot söder.



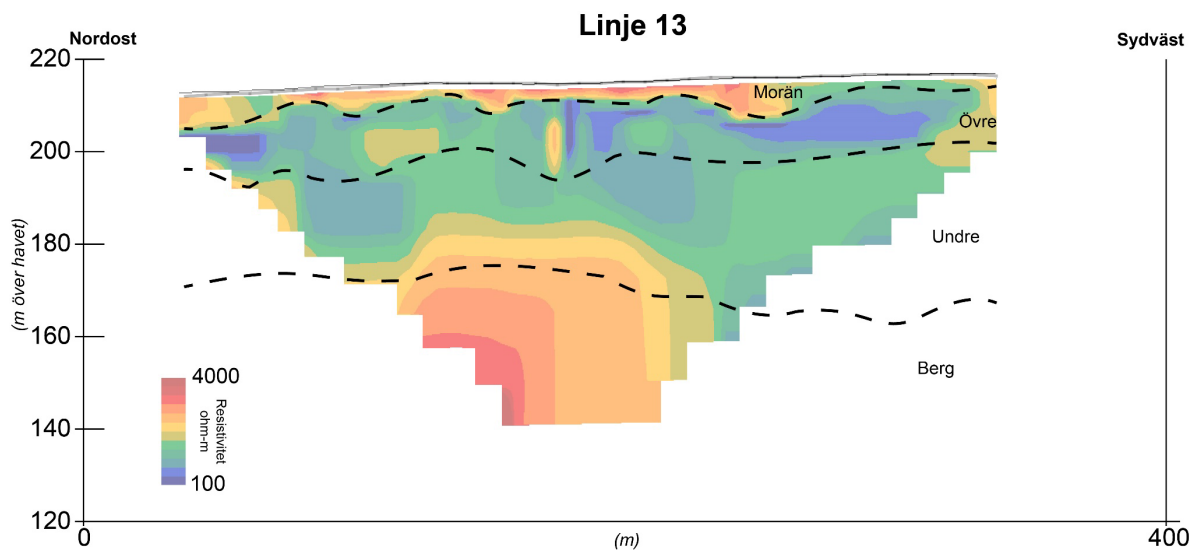
Figur 5. Resistivetsprofilen 'Linje 5' med inritade streck för tolkad geologi.

Linje 13

Resistivetsprofilen 'Linje 13' är belägen i den nordvästra delen av undersökningsområdet, söder om 'Linje 2' (fig. 1). Längs profilen utfördes en borrhning som påvisade 8 m morän varefter jordlagren var för steniga för fortsatt borrhning (GFP191108/EVG2019100701, fig. 1).

Trots den bristande informationen från jordlagerföljderna tolkas resistivetsprofilen som att det finns ett övre tunnare lager av morän som är cirka 3–8 m mäktigt. Under moränlagret bedöms det finnas ett mäktigare lager av finkornigare sediment, cirka 10–15 m mäktigt, vilket syns i resistivetsprofilen genom områden med lägre resistivitet (fig. 6). Under detta finkornigare lager bedöms det finnas ett lager med grövre sediment vilket syns i tolkningen som högre resistivetsvärden (fig. 6).

I resistivetsmätningen är bergöverytans läge inte så tydligt bestämd vilket troligtvis beror på att profilens längd inte är tillräcklig för att ge acceptabla mätningar av resistiviteten på djupet. Jorddjupet i området skulle kunna uppgå till så mycket som 50–60 m, det finns dock inga djupare borrhningar i anslutning till resistivetsprofilen.



Figur 6. Resistivetsprofilen 'Linje 13' med inritade streck för tolkad geologi.

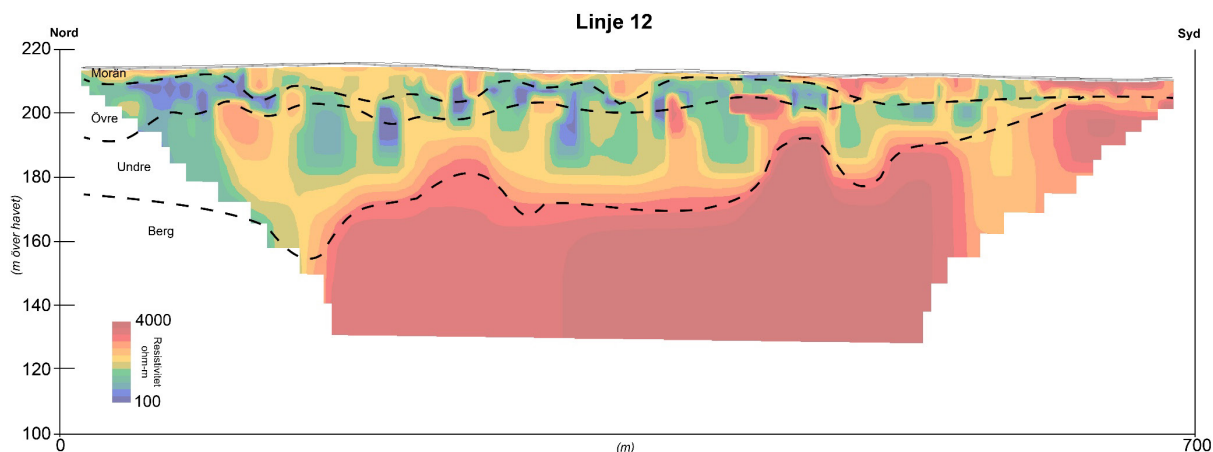
Linje 12

Resistivetsprofilen 'Linje 12' är belägen i de centrala delarna av studieområdet (fig. 7). Profilen går i nord-sydlig riktning cirka 250 m väster om samhället Berg. Resistivetsmätningen ger en generellt högre resistivitet än de övriga mätningarna i området.

Översta lagret utgörs av morän som enligt en borrhning (ELM082032, fig. 3) kan vara av större mäktighet än vid de övriga profilerna i studieområdet. Dock är borrhningarna belägna en bit från profilen (50–80 m), vilket gör användningen av dessa mindre säkra, då jordlagren är heterogena och kan variera både i mäktighet och utbredning.

Tolkningen är att det övre lagret utgörs av morän och att det därefter finns ett lager av finkornigare sediment vilket överlagrar ett grovkornigare sedimentlager, vilket stöds av jordlagerföljder från borrhning ELM082032. Både det undre grovkornigare sedimentlagret och det övre lagret av finkornigare sediment avtar i mäktighet mot söder och bedöms helt avta i den södra delen av profilen. Områden med lägre resistivitet indikerar ett högre vatteninnehåll eller en högre halt av finkornigare sediment (fig. 7).

Jorddjupens mäktighet minskar från cirka 40–50 m i norra delen av profilen till cirka 5–10 m i den södra profilen, bergöverytans läge kan anses vara relativt säker från cirka 150 m in på profilen.



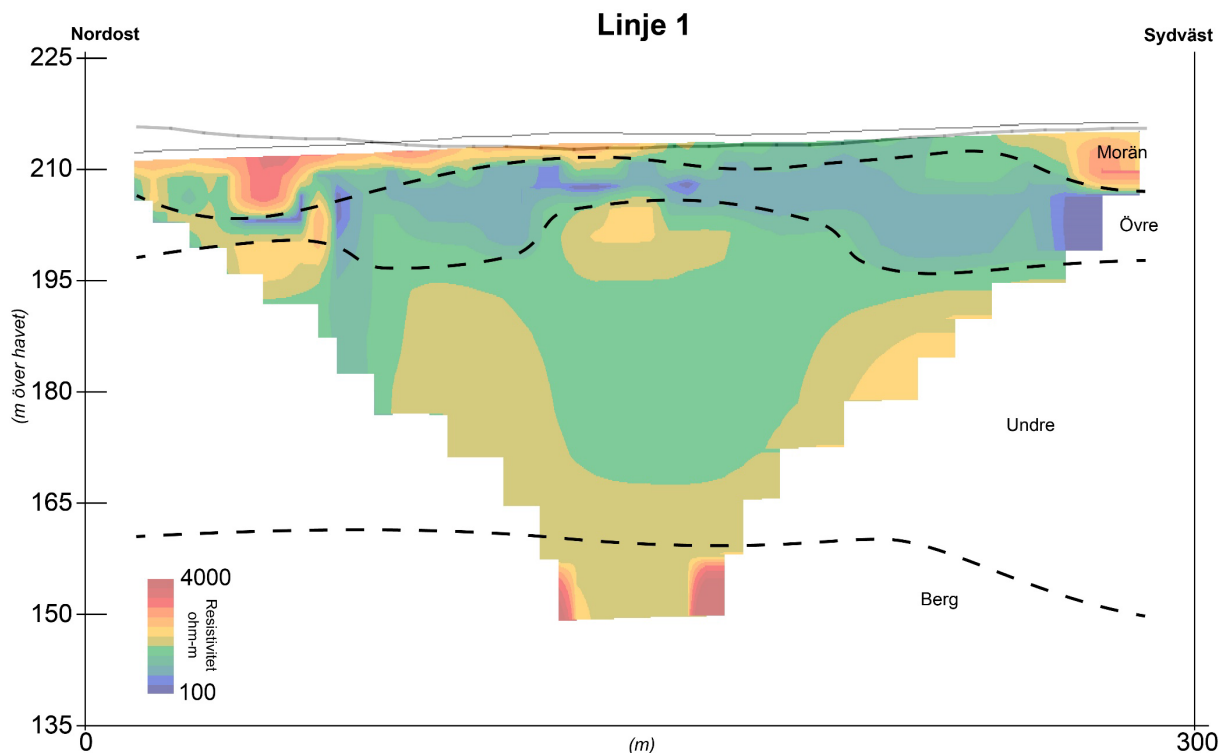
Figur 7. Resistivetsprofilen 'Linje 12' med inritade streck för tolkad geologi.

Linje 1

Resistivetsprofilen 'Linje 1' (fig. 8) ligger i nordost-sydvästlig riktning och ansluter mot 'Linje 12' (fig. 7) i den nordostliga delen av profilen. Det finns ingen jordlagerföljdsinformation längs profilen vilket gör tolkningen relativt osäker.

Det översta lagret tolkas som en morän med en mäktighet som är större i profilens utkanter än på mitten. Mäktigheten varierar mellan 2 och 10 m (fig. 8). Under moränlagret finns ett lager med lägre resistivitet och som ökar i mäktighet mot nordost. Detta bedöms bestå av finkornigare sediment och mäktigheten varierar mellan cirka 5 och 18 m, mäktigast i nordost. Under lagret med finkornigare sediment tolkas ett mäktigare lager av grovkornigare sediment, mäktigheten kan uppgå till så mycket som 45 m.

I tolkningen av resistivetsmätningen syns ingen tydlig bergöveryta (fig. 8), vilket sannolikt kan bero på att profilens längd inte är tillräcklig för att ge acceptabla mätningar av resistiviteten samtidigt som jorddjupet är stort. Jorddjupet i området kan uppgå till så mycket som 50–60 m, dock finns det inga borrhningar i området där jorddjupet är bekräftat.



Figur 8. Resistivetsprofilen 'Linje 1' med inritade streck för tolkad geologi.

Linje 4

Resistivetsprofilen 'Linje 4' är belägen utanför själva lidmoränen i ett område sydost om samhället Berg. Mätningen visar ett relativt litet jorddjup (cirka 4–5 m) vilket även en borring i området stödjer. Det har även observerats hållar strax norr om profilen vilket stödjer att jorddjupet i området är begränsat.

Grundvattennivåer

Grundvattennivåobservationer (nutida och äldre) från området i och omkring samhället Berg visar att det finns grundvattenytor på två olika nivåer och som bedöms kunna representera två olika grundvattenmagasin. En grundvattenyta som ligger högt upp i markprofilen, och är grundvattennivån i de flesta grävda brunnar, bedöms representera grundvattenmagasinet i morän. Den undre tryckytan är belägen djupare ner i markprofilen och anses representera ett undre grundvattenmagasin som är beläget i det undre sedimentlagret.

Utöver grundvattennivåer i brunnar i området har även en del utströmningsområden för grundvatten lokaliserats. Det är främst i den östra delen av området det förekommer utströmningsområden, både punktvis och större diffusa utströmningsområden. Utströmning sker bland annat längs sjökanten i området norr om kyrkan, det största utströmningsområdet sker öster om samhället både genom diffusa utflöden och genom tydligt punktutflöde (källflöde), och flödet bedöms uppgå till cirka 0,5–3 l/s i oktober 2020 (EVG2020102001, fig. 1). Vid ett flertal av utflödena observerades utfällningar av järnoxider (fig. 9).



Figur 9. Källflöde med utfällning av järnoxider.

Grundvattenströmningen i det övre grundvattenmagasinet i morän bedöms till största del följa topografin (Mark & vatteningenjörerna 1997). För det undre grundvattenmagasinet är grundvattenströmningen mer svårbedömd men sker förmodligen mot lågpunkten i området, det vill säga källutflödet öster om samhället alternativt mot Lädjasjön. Det är möjligt att i en del av de utströmningsområden som har observerats dräneras grundvatten från det övre grundvattenmagasinet. Många av de äldre grävda brunnarna i området är djupa vilket kan tyda på en dålig tillrinning i det övre magasinet och för att ge tillräckligt med vatten för att täcka vattenbehovet krävdes då en stor brunnsvolym.

Det finns inte tillräckligt med observationer av grundvattennivåer i det undre grundvattenmagasinet för att kunna göra en säker bedömning över grundvattnets strömningsriktning. Grundvattenströmningen i det undre magasinet bedöms till större delen bero på bergöverytans läge. Med stöd av 3D-modellen (se nedan) är tolkningen att ett utströmningsområde för det undre grundvattenmagasinet skulle kunna vara i området med källutflödet öster om samhället. Även utströmning från det undre magasinet till både Lädjasjön och Rödemosse är möjligt.

Grundvattenbildning

Grundvattenmagasinen tillförs vatten genom den nederbörd som faller på markytan. Inom studieområdet Berg är förekomsten av ytvattendrag låg vilket innebär att den allra största delen av den effektiva nederbörden kommer att bilda grundvatten till det övre grundvattenmagasinet. Det finns områden som är blötare (våtmarkskaraktär) i topografiska svackor och grundvattenytan ligger nära markytan. Bedömningen är att en stor del av nederbörden som bildar grundvatten i det övre grundvattenmagasinet kommer att dräneras genom våtmarker och att endast en mindre del av grundvattenbildningen bildar grundvatten till det undre grundvattenmagasinet. En grov uppskattning är att mellan 20 och 50 % av den totala grundvattenbildningen till det övre grundvattenmagasinet skulle kunna tillföras det undre grundvattenmagasinet. Det innebär en grundvattenbildning till det undre grundvattenmagasinet som skulle kunna uppgå till mellan 4 och 10 l/s (tabell 2). Uttagsmöjligheten bör kunna uppgå till cirka 5 l/s eller något mer, speciellt med tanke på att vid uttag ur det undre grundvattenmagasinet kan grundvattenbildningen genom moränen öka.

Tabell 2. Grundvattenbildning och bedömd grundvattentillgång.

	Yta km ²	Effektiv nederbörd *	Naturlig grundvattenbildning (l/s)
Grundvattenbildning till övre grundvattenmagasin	2,2	278 mm/år, 8,8 l/s per km ²	Ca 15–19 **
Grundvattenbildning till undre grundvattenmagasin	2,2	278 mm/år, 8,8 l/s per km ²	Ca 4–10 ***

* Beräkningen av effektiv nederbörd grundas på beräknad grundvattenbildning i olika typjordar från perioden 1962–2003 för aktuellt område (Rodhe m.fl. 2006). Osäkerheten i det beräknade värdet är betydande.

** Bygger på antagandet att 80–100 % av grundvattenbildningen till det övre grundvattenmagasinet tillförs det undre grundvattenmagasinet.

*** Bygger på antagandet att 20–50 % av grundvattenbildningen till det övre grundvattenmagasinet tillförs det undre grundvattenmagasinet.

Grundvattenkemi

De analyser som genomförts och samlats in med avseende på grundvattenkvaliteten i samhället Berg visar på ett grundvatten med över lag låg redoxpotential vilket sannolikt innebär reducerande förhållanden.

Provtagningslokalerna är belägna i åtminstone tre olika grundvattenmagasin; ett i morän, ett i djupare liggande sorterade jordlager och ett beläget i berggrunden.

Alkaliniteten ligger kring 30–40 mg/l (måttlig halt, SGU 2013) i grundvattnet i jord. För de bergborrade brunnarna är alkaliniteten högre, kring 100–150 mg/l (hög halt SGU 2013). pH i grundvattenmagasinen i jord är 6–6,8 (låg till måttlig SGU 2013) medan något högre i de bergborrade brunnarna kring 7,5 (måttligt/hög SGU 2013). I några av de grävda brunnarna är pH högre men det bedöms bero på att det har skett en dosering av kalk i brunnar för att höja pH-värdet.

Kloridhalterna är låga (SGU 2013) med 6–8 mg/l i det övre morän-magasinet medan det i det undre, samt i vissa bergborrade brunnar, är högre, kring 20 mg/l (låg/måttlig halt SGU 2013).

Vid provtagning och vid tidigare borrhningar har det påträffats lukt av svavelväte vilket tyder på reducerande förhållanden. Lukt av svavelväte påträffades vid provtagning av den djupborrade brunnen i jord (EVG20191102, fig. 1) samt vid borrhning av den tidigare vattentäktbrunnen (ELM080232, fig. 3). Lukt av svavelväte tyder på syrefattiga förhållanden och att det finns tillgång till organiskt material som vid nedbrytning reducerar sulfat till svavelväte.

Källflödet (EVG2020102001, bilaga 2) som provtogs i östra delen av området uppvisar en grundvattenkemi som tyder på att grundvattnet härstammar från ett djupare liggande grundvatten, vilket bland annat syns genom att karaktären (halter av bland annat kalcium och klorid,) på

grundvattnet liknar det som finns i den djupborrade brunnen i jord (EVG2019101102, bilaga 2). Dock var halten av nitrat högre. Karaktären på grundvattnet i källflödet har även en något annan karaktär än grundvattnet i den närliggande grävda brunnen (EVG2019101103, bilaga 2). Den grävda brunnen har till exempel högre halter av järn och mangan, lägre sulfathalt, lägre kloridhalt samt låg halt av nitrat jämfört med källflödet. Det ska dock tilläggas att den grävda brunnen kan vara påverkad av kalk för att höja pH vilket kan påverka vissa parametrar (bilaga 2).

De bergborrade brunnarna har generellt sett högre halter av järn och mangan än provtagningsplatserna i jord, förutom grundvattenröret EVG2019100701 och samfällighetbrunnen EVG2019101103 (bilaga 2). De högre halterna av fosfat i de bergborrade brunnarna kan bero på att berggrunden i området innehåller högre halter av fosfat än jordlagren. Fluoridhalterna är högre än provtagningspunkterna belägna i jord, vilket är något som förväntas då fluoridhalterna oftast är högre i berggrundvatten än i jordgrundvatten (SGU 2013).

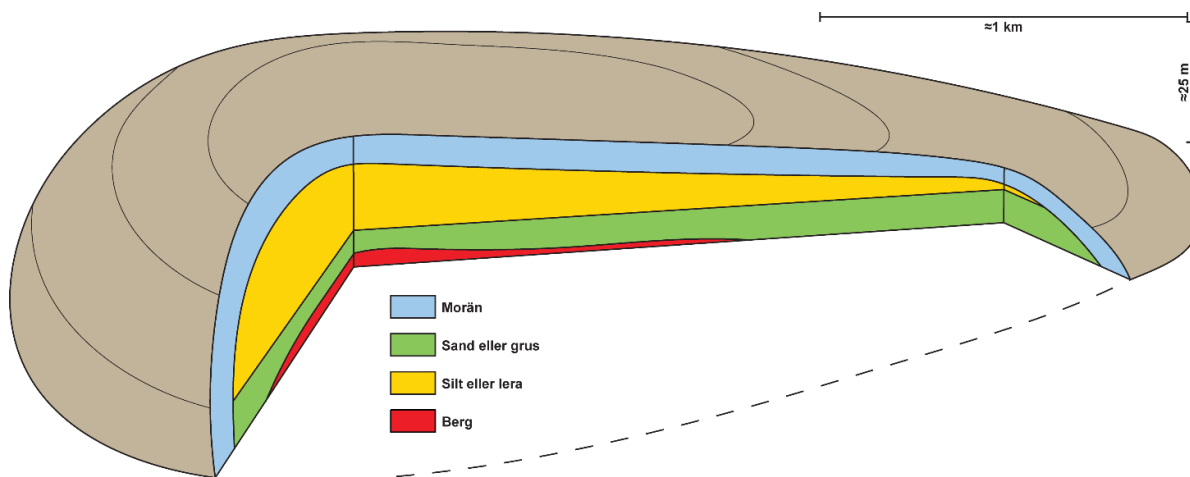
3D-modell

En 3D-modell har tagits fram i programmet BGS Groundhog Desktop Professional, version 2.1.0, över studieområdet. Med stöd av de geologiska tolkningarna från resistivitetsmätningar, lagerföljdsuppgifter från både borrhningar inom projektet och från tidigare undersökningar samt Brunnarsarkivet har ett antal sektioner (tvärsnitt) ritats. I områden där det saknas borrhålsdata har sektioner ritats med hjälp av SGU:s jorddjupsmodell och en generaliserad lagerföljd baserat på den geologiska tolkningen av området. Samtliga sektioner har sedan använts för att interpolera de olika lagrens begränsningsytor. Modellen är uppbyggd nerifrån och upp enligt den konceptuella bilden som framkommit från tolkningen av lagerföljdsinformationen från lidmoränen i Berg. Den konceptuella bilden av lidmoränens uppbyggnad visas i figur 10.

Följande antaganden har utgjort grund för uppbyggnaden av 3D-modellen:

När ingen information har funnits, har lagrens mäktighet bedömts utifrån angränsande mäktighetsuppgifter, geologisk kunskap och konceptuell förståelse av geologin.

3D-modellen är förknippad med osäkerheter och återger enbart en generaliserad bild av jordlagren. Osäkerheten varierar bland annat beroende på mängden och kvaliteten på indata för varje enskild del av modellen. I vissa områden finns det tätt med informativa borrhål och modellen representerar följaktligen verkligheten bättre där, än i områden där det är långt mellan borrhålen. Vid avgränsningen av de två sedimentlagren har främst lagerföljdsuppgifter och resistivitetsmätningar använts. Osäkerheten i lagerföljdsuppgifterna är varierande. Osäkerheten i utbredningen av sedimentlagren utanför modellområdet är betydande. De generella antaganden



Figur 10. En konceptuell bild av lidmoränen i Bergs uppbyggnad. Modifierad från Möller och Murray 2015.

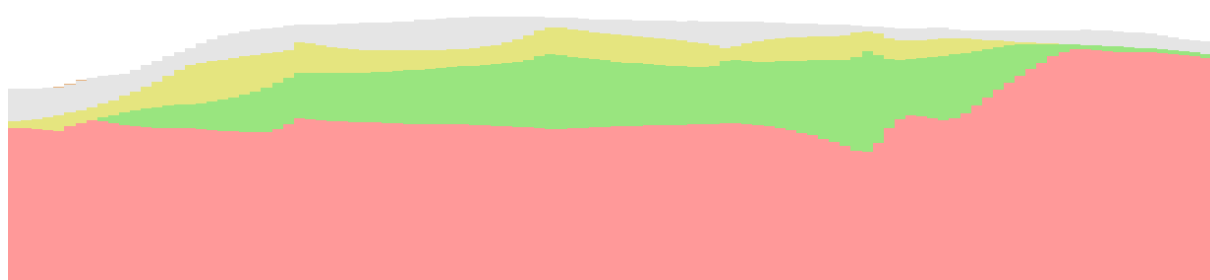
som gjorts i modelleringen innebär i sig en osäkerhet. Det går inte att förvänta sig att antagandena är riktiga överallt. 3D-modellen används för att ge en bild över hur en lidmorän med en kärna av sorterade sediment skulle kunna vara uppbyggd.

Jordlagren som använts vid modelleringen presenteras i tabell 3 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 har även vatten och berg inkluderats.

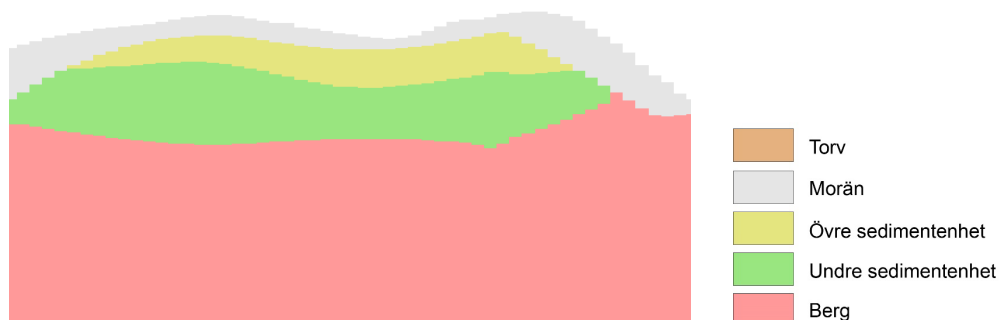
Modelleringen genererar voxlar (3D-pixlar) över hela det modellerade området. Modellen kommer finnas tillgänglig via SGU:s 3D-kartvisare. I figur 11 och figur 12 visas exempel på två sektioner från modellen. En längs med lidmoränens egenform (fig. 11) och en tvärs över (fig. 12).

Tabell 3. Modellerade lager enligt en generaliserad jordlagerföljd.

Lager	Beskrivning	Kommentar
Vatten	Vattenpolygoner har hämtats från jordartskartan.	
Isälvmaterial	Sand eller grövre sediment avsatt av isälv.	Ej sammanhängande, mindre områden med isälvmaterial
Morän	I huvudsak osorterad jord transporterad och avsatt av inlandsisen.	Bedöms vara kontinuerlig i hela området.
Övre sedimentenhet	Issjösediment	Sediment som innehåller främst finkornigare sediment men kan även innehålla skikt eller lager av grovkornigare sediment. Kan delvis vara borteroderat. Behöver inte vara kontinuerligt över hela studieområdet.
Undre sedimentenhet	Äldre isälvssediment avsatta i isälvar under ett tidigare stadium under den senaste istiden.	Sediment som innehåller främst grovkornigare sediment. Kan ha avsatts ställvis. Behöver inte vara kontinuerligt över hela studieområdet.
Berg	-	-



Figur 11. Tvärsektion från 3D-modellen i nord-sydlig riktning. Längd cirka 2 800 m, vertikal skala förstorad x5.



Figur 12. Tvärsektion från 3D-modellen i ost-västlig riktning. Längd cirka 1 400 m, vertikal skala förstorad x5.

Sammanfattande observationer och tolkning av resultaten

- Undersökningarna (brunnsborrningar och resistivitetsmätningar) visar att det i samhället Berg finns stora jorddjup. Lagerföljderna från brunnsborrningarna, samt som en del i projektet insamlade borrningar, visar på lagerföljder där morän överlagrar sorterade sediment, vilket även syns i resistivitetsmätningarna.
- Under det översta lagret av morän förekommer det skikt av grus, sand, lera och silt. Utifrån resistivitetsmätningar och borrningar i området är SGU:s bedömning av jordlagerföljderna att det överst finns en morän som är sandig grusig med en mäktighet som kan uppgå till cirka 25 m men i merparten av området är cirka 5–10 m mäktig. Under moränen finns det sorterade sediment som sand, grus, lera och silt.
- Uppgifter från området, främst från mätningar i enskilda grävda och borrade brunnar, visar att det finns en grundvattenyta i den övre moränen, dessutom finns det även finns en grundvattenyta belägen i de djupare liggande sedimentlagren. Vissa av de grävda brunnarna är djupa vilket indikerar att grundvattenytan ligger djupt eller att genomsläppligheten är dålig vilket gör att det behövs ett stort brunnsmagasin för att täcka upp den begränsade tillrinningen vid större uttag. Den lägre genomsläppligheten har även observerats genom pumptest i det grundvattenrör som installerades vid linje 13 (EVG2019100701, fig. 1).
- Under moränen bedöms det finnas lager av finkornigare sediment som kan tolkas som issjösediment, bland annat genom lagerföljdsobservationen vid den norra delen av området (GFP191107, fig. 1) där varvig lera observerades under morän och silt (fig. 3). I de djupare delarna förekommer ett mer grovkornigt sediment, såsom grus.
- På ett flertal platser i släntfoten av lidmoränen läcker det ut grundvatten (fig. 1), det större utflödet bedöms ske från det undre grundvattenmagasinet, baserat på analys över grundvattenkemin.
- Resistivitetsprofilen linje 12 (fig. 7) samt 3D-modellen (fig. 11) visar att jordmäktigheterna avtar söderut, samtidigt som jordlagren med sorterade sediment avtar.

DISKUSSION

Flera studier av lidmoräner i Småland visar att det finns stora jordmäktigheter och att dessa inte enbart består av morän utan att det ställvis finns sorterade sediment från tidigare stadium av den senaste perioden med inlandsisar. Genom de undersökningar som genomfördes i Berg har även denna lidmorän visats innehålla stora jordmäktigheter som är utbredda samt att det förekommer sorterade sediment under ytmoränen.

För att kunna utgöra grundvattenmagasin krävs det en sammanhållande geologisk enhet med tillräcklig genomsläpplighet som möjliggör uttag av grundvatten samt att grundvattenbildningen är tillräcklig. I området kring Berg har undersökningarna visat att det finns potential för att det undre sedimentlagret är sammanhängande och att det är tillräckligt genomsläppligt.

Det framkommer att området kring Berg har haft och har stora problem med kvaliteten på grundvattnet, vilket har lett till att vattentäkten har flyttats upprepade gånger. Grundvattnet i berggrunden innehåller ofta högre halter av järn och mangan samt högre halter av fosfat (bilaga 2).

I den undre sedimentenheten har det påträffats lukt av svavelväte. Det största problemet som kan ses i analysdata är de höga nitrathalterna (möjliga källor är jordbruk, enskilda avlopp) som har observerats främst i grävda brunnar (bilaga 2). Detta är omständigheter som kan försvåra användningen av det undre grundvattenmagasinet inom dricksvattenförsörjningen. Grundvattenkvaliteten och det faktum att det råder reducerande förhållanden (syrefattigt) kan bero på att den undre sedimentenheten överlagras av en mindre genomsläpplig morän som gör att syret hinner förbrukas innan det når det undre grundvattenmagasinet.

Lidmoränen i Berg har likheter med lidmoränen i Rydaholm. Båda ligger i områden med stora jorddjup som har morän som ytjordart och med betydande mäktigheter av sorterade sediment. Med bakgrund av erfarenheterna från Berg och uppgifter från Rydaholm samt de lokaler som Agrell (opublicerade manuskript 2002 och 1978) identifierade bör det finnas flera lidmoräner i Småland som eventuellt kan utgöra grundvattenmagasin.

Det finns osäkerheter i tolkning av resistivitetsdata som beror på att olika material kan ha liknande resistivitet och på osäkerhet i modellberäkningen. Medan moränen och berggrunden är ganska tydligt avgränsade är gränsen mellan den övre finkorniga sedimentenheten och den undre mera grovkorniga svårare att se. Tolkningen av resistivitetsdata blir säkrare om borrhningar med beskrivning av lagerföljd finns närliggande, men det är inte alltid möjligt. Andra sätt att förbättra tolkningen av resistivitetsdata kan vara att komplettera dem med refraktionsseismik eller mäta resistiviteten i prov på de lösa sedimenten.

SLUTSATSER

Projektet visar att det finns geologiska förhållanden i Småland, förutom de vanliga isälvs-avlagringarna, där det finns förutsättningar för grundvattenuttag. Undersökningar (brunns-borrhningar och resistivitmätningar) visar att det i samhället Berg finns stora jorddjup och att det finns sorterade sediment med grus, sand och lera eller silt i en lidmorän där morän överlagrar sorterade sediment. Förhållandena är även sådana att det förekommer två skilda grundvattenmagasin. Resultaten visar att moräntäckta sediment kan vara intressanta ur ett vattenförsörjningsperspektiv både för den kommunala vattenförsörjningen till ett mindre samhälle (se till exempel Rydaholm) men inte minst för den enskilda vattenförsörjningen. Analyser av grundvattenkvaliteten visar att det råder reducerande förhållanden vilket kan utgöra ett problem inom dricksvattenförsörjningen.

Däremot behövs det en annan typ av borrhning för att kunna undersöka de underliggande grundvattenmagasinens egenskaper och utbredning än vad som används inom SGU:s grundvattenkartläggning.

FÖRSLAG TILL FORTSATTA STUDIER

Det krävs ytterligare undersökningar för att klargöra om området vid Berg har de rätta förutsättningarna för större grundvattenuttag ur det undre grundvattenmagasinet. Undersökningar som förslagsvis behöver genomföras är:

- Borrhningar och detaljerade observationer av lagerföljder ner till berggrunden.
- Undersöka magasinets hydrauliska egenskaper och grundvattnets kvalitet i det undre grundvattenmagasinet.

Det finns flera liknande områden som Berg i Småland som kan utgöra grundvattenmagasin. Ytterligare undersökningar behöver genomföras för att klarlägga dessa formationers betydelse som grundvattenresurser, både för den enskilda och för den kommunala vattenförsörjningen. Förslagsvis bör dessa områden initialt kartläggas med SGU:s metodik för grundvattenkartläggning, men där en annan typ av borrhning behöver användas för att kunna observera jordlagerföljderna på djupet samt observation av grundvattenförhållanden i djupet. Områden behöver undersökas avseende både grundvattentillgång och kvalitet. I områden med öppna landskap kan med fördel tTEM ("towed transient electromagnetics") användas, vilket skulle ge en detaljerad kartläggning i 3D för en bättre och noggrannare avgränsning av potentiella grundvattenmagasin. En kartläggning med tTEM behöver kompletteras med detaljerade observationer av lagerföljder, förslagsvis genom 'Rotasonic'-borrhningar.

REFERENSER

- Andrén, T., Björck, S., Andrén, E., Conley, D., Zillén, L. & Anjar, J., 2011: The Development of the Baltic Sea Basin During the Last 130 ka. I Harff, J., Björck, S. & Hoth, P. (eds): *The Baltic Sea Basin*. Berlin, Heidelberg: Springer, 75–97. doi: 10.1007/978-3-642-17220-5.
- Anjar, J., Larsen, N. K., Håkansson, L., Möller, P., Linge, H., Fabel, D. & Xu, S., 2014: A 10 Be-based reconstruction of the last deglaciation in southern Sweden. *Boreas*, 43(1), 132–148. doi: 10.1111/bor.12027.
- Agrell, H., Friberg, N. & Oppgård, R., 1976: The Vimmerby Line – An ice-marginal zone in north-eastern Småland. *Svensk geografisk årsbok*, 52, 71–91.
- Alexanderson, H., 2010: Sub-till glaciofluvial sediments at Hultsfred, South Swedish Upland. *GFF*, 132(3–4). Taylor & Francis, 153–159. doi: 10.1080/11035897.2010.508134.
- Backö kommunaltekniska byrå, 1981: Rapport från grundvattenundersökningar i sandavlagringar öster om samhället, 14 s.
- Cohen, K. K. M., Finney, S. C. S., Gibbard, P. L. P. & Fan, J. J.-X., 2013: The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes*, 36(3), 199–204.
- Fredholm, K. A., 1875: Några iakttagelser öfver skiktade gruslager bland krosstensgrus i Småland. *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*, 2(12), 522–525. doi: 10.1080/11035897509448101.
- Houmark-Nielsen, M., 2010: Extent, age and dynamics of Marine Isotope Stage 3 glaciations in the southwestern Baltic Basin. *Boreas*, 39(2), 343–359. doi: 10.1111/j.1502-3885.2009.00136.x.
- Hughes, A. L. C., Gyllencreutz, R., Lohne, Ø. S., Mangerud, J. & Svendsen, J. I., 2016: The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1. *Boreas*, 45(1), 1–45. doi: 10.1111/bor.12142.
- Hummel, D., 1877: Beskrifning till kartbladet ‘Huseby’. *Sveriges geologiska undersökning Ab 1*.
- Johnsen, T. F., Alexanderson, H., Fabel, D. & Freeman, S. P. H. T., 2009: New 10Be cosmogenic ages from the Vimmerby moraine confirm the timing of Scandinavian ice sheet deglaciation in Southern Sweden. *Geografiska Annaler*, 91(2), 113–120. doi: 10.1111/j.1468-0459.2009.00358.x.
- Karlsson, C., Sohlenius, G. & Peterson Becher, G., 2021: Handledning för jordartsgeologiska kartor och databaser över Sverige. *SGU-rapport 2021:17*. Sveriges geologiska undersökning, 83 s.
- Kleman, J., 1994: Preservation of Landforms Under-Ice Sheets and Ice Caps. *Geomorphology*, 9(1), 19–32.
- Lagerbäck, R., 1988: The Veiki moraines in northern Sweden - widespread evidence of an Early Weichselian deglaciation. *Boreas*, 17(4), 469–486. doi: 10.1111/j.1502-3885.1988.tb00562.x.
- Lagerbäck, R., 2018: Den senaste nedisningen i södra Sverige – och tiden dessförinnan. *Rapporter och meddelanden 143*. Sveriges geologiska undersökning, 92 s.
- Lång & Lind, 2018: Grundvattenmagasinet Fjärås bräcka. *Sveriges geologiska undersökning K 609*, 16 s.
- Länsstyrelsen i Kronobergs län, 1970: Översiktlig utredning rörande samhällenas vattenförsörjning i Kronobergs län. Del 1: Alvesta, Växjö, Lessebo och Åseda/Lenhovda kommunblock. 100 s.
- Lemdahl, G., Broström, A., Hedenäs, L., Arvidsson, K., Holmgren, S., Gaillard, M. J. & Möller, P., 2013: Eemian and Early Weichselian environments in southern Sweden: A multi-proxy study of till-covered organic deposits from the Småland peneplain. *Journal of Quaternary Science*, 28(7), 705–719. doi: 10.1002/jqs.2664.
- Loke, M.-H., 2020: Manual for Res2DInv. Hämtad från geotomosoft.com. Åtkommen den 21 januari 2022.
- Magnusson, 2009: Beskrivning till jordartskartan 5E Växjö NO. *Sveriges geologiska undersökning K 169*, 22 s.

- Mangerud, J., Jansen, E. & Landvik, J. Y., 1996: Late cenozoic history of the Scandinavian and Barents Sea ice sheets *Global and Planetary Change*, 12(1–4), 11–26. doi: 10.1016/0921-8181(95)00009-7.
- Mark & vatteningenjörerna AB, 1997a: Bergs vattenverk. Redovisning av ny brunn, förslag till maskinell utrustning ny serviceväg samt åtgärder i vattenverket. Växjö kommun, 13 s.
- Mark & vatteningenjörerna AB, 1997b: Samhället Bergs vattenförsörjning. Utredning om förhöjda kvävehalter i kommunala dricksvattenbrunnar. Växjö kommun, 29 s.
- Mark & vatteningenjörerna AB, 2004: Skyddsområde för bergs kommunala vattentäkt. Växjö kommun, tekniskt underlag, 26 s.
- Möller, P. & Murray, A. S., 2015: Drumlinised glaciofluvial and glaciolacustrine sediments on the Småland peneplain, South Sweden – new information on the growth and decay history of the Fennoscandian Ice Sheets during MIS 3. *Quaternary Science Reviews*, 122, 1–29. doi: 10.1016/j.quascirev.2015.04.025.
- Möller, P., Alexanderson, H., Anjar, J. & Björck, S., 2020: MIS 3 sediment stratigraphy in southern Sweden sheds new light on the complex glacial history and dynamics across southern Scandinavia. *Boreas*, 49(3), 389–416. doi: 10.1111/bor.12433.
- Palacky, G., 1988: Resistivity characteristics of geologic targets. I M. Nabighian, *Electromagnetic methods in Applied Geophysicists: theory*. Tulsa: Society of Exploration Geophysics.
- Parasnis, D.S., 1997: *Principles of Applied Geophysics*. 5th Edition, Chapman and Hall, London, 104-176.
- Persson, T., 2013: Grundvattenmagasinet Råda ås. *Sveriges geologiska undersökning K 492*, 19 s.
- Peterson, G., Johnson, M. D., & Smith, C. A., 2017: Glacial geomorphology of the south Swedish uplands – focus on the spatial distribution of hummock tracts. *Journal of Maps*, 13(2), 534–544.
- Peterson, G., Johnson, M. D., Dahlgren, S., Pässe, T. & Alexanderson, H., 2018: Genesis of hummocks found in tunnel valleys: an example from Hörda, southern Sweden. *GFF*, 140(2), 189–201. doi: 10.1080/11035897.2018.1470199.
- Regnell, C., Mangerud, J. & Svendsen, J. I., 2019: Tracing the last remnants of the Scandinavian Ice Sheet: Ice-dammed lakes and a catastrophic outburst flood in northern Sweden, *Quaternary Science Reviews*, 221, 105862 s. doi: 10.1016/j.quascirev.2019.105862.
- Reynolds, J., 2011: An introduction to applied and environmental geophysics, 2nd ed. John Wiley and sons.
- Rodhe, A., Lindström, G., Rosberg, J. & Pers, C., 2006: Grundvattenbildning i svenska typjorlar – översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell. Uppsala universitet, Institutionen för geovetenskaper. *Report Series A No. 66*. Uppsala universitet, Institutionen för geovetenskaper, 20 s.
- Rydström, S., 1971: The Varend district during the last glaciation, *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*, 93(3), 537–552. doi: 10.1080/11035897109455384.
- SGU, 2020: Grundvattensatsningen 2018–2020 – Utökad kartläggning och karakterisering av grundvattenresurser. RR 2020:04. Sveriges geologiska undersökning, 34 s.
- Stroeve, A. P., Hättstrand, C., Kleman, J., Heyman, J., Fabel, D., Fredin, O., Goodfellow, B. W., Harbor, J. M., Jansen, J. D., Olsen, L., Caffee, M. W., Fink, D., Lundqvist, J., Rosqvist, G. C., Strömberg, B. & Jansson, K. N., 2016: Deglaciation of Fennoscandia. *Quaternary Science Reviews*, 147, 91–121. doi: 10.1016/j.quascirev.2015.09.016.
- Sveriges miljömål, 2020: <https://sverigesmiljomal.se/miljomalen/grundvatten-av-god-kvalitet/enskilda-brunnars-vattenkvalitet/> utkomst 2020-12-21.
- VIK, 1957: PM angående grundvattentäkt för Smålands Rydaholms samhälle i Rydaholms kommun, Jönköpings län. 3 s.

- VIAK, 1959: Yttrande över undersökningar vid Stallgård för vattenförsörjningen inom Smålands Rydaholms samhälle i Rydaholms kommun, Jönköpings län. 19 s.
- VIAK, 1975: Värnamo kommun Smålands Rydaholm. Undersökning av den befintliga grundvattentäkten vid Stallgården. 27 s.
- VIAK, 1976: Värnamo kommun Smålands Rydaholm. Program för utförande av rörbrunn vid Stallgården. 10 s.
- Vikberg, E., Thunholm B., Thorsbrink M., Dahné, J., 2015: Grundvattennivåer i ett förändrat klimat – nya klimatscenarier. *SGU-rapport 2015:19*. Sveriges geologiska undersökning, 26 s.
- Ward, S, 1990: Resistivity and Induced polarization methods. I *Investigations in geophysics No 5: Geotechnical and environmental geophysics, vol. 1: review and tutorial*. Society of Exploration Geophysicists, 147–189.
- Wohlfarth, B., 2010: Ice-free conditions in Sweden during Marine Oxygen Isotope Stage 3?, *Boreas*, 39(2). Blackwell Publishing Ltd, 377–398. doi: 10.1111/j.1502-3885.2009.00137.x.

BILAGA 1. VANLIGTVIS ANTAGNA RESISTIVITETSVÄRDEN ÖVER NÅGRA VANLIGA GEOLOGISKA MATERIAL

Material	Resistivitet ($\Omega \cdot m$)
Lera	1–120
Morän	ca 70–4 000
Sand och grus	200–2 000
Grus (torr)	Över 1 000
Grus (vattenmättad)	Över 100
Sandig lera	30–ca 200
Granit	1 000–13 000
Vatten	2–100

Från Parasnis (1997), Palacky (1988), Reynolds (2011)

BILAGA 2. SAMMANSTÄLLNING AV TILLGÄNGLIGA YT- OCH GRUNDVATTENKEMISKA DATA FRÅN DET UNDERSÖKTA OMRÅDET I SAMHÄLLET BERG

Sammanställning av tillgängliga yt- och grundvattenkemiska data från det undersökta området i samhället Berg. Enskilda celler har, i tillämpliga delar, färgats i enlighet med klassindelningen i SGU:s ”Bedömningsgrunder för grundvatten” (SGU 2013).

Klass 1 = blå, Klass 2 = grön, Klass 3 = gul, Klass 4 = orange, Klass 5 = röd. Klassindelningens innebörd skiljer sig åt mellan parametrar. Höga halter representeras i regel av högre klasser, men undantag finns (till exempel för parametern alkalinitet).

[illegible]