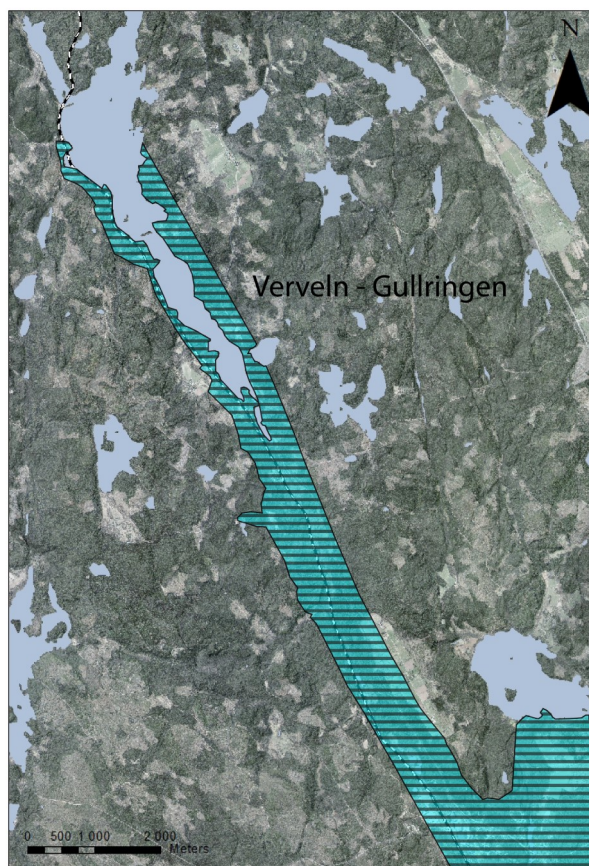


Tolkning av georadarprofiler över grundvattenmagasinet Vervein - Gullringen i Kalmar län

Haider Faraj

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 562
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2019

Tolkning av georadarprofiler över grundvattenmagasinet VerveIn - Gullringen i Kalmar län

Kandidatarbete
Haider Faraj

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2019

Innehåll

1	Introduktion	7
2	Syfte	7
3	Avgränsning	8
4	Bakgrund	8
4.1	Hydrologi—Vattnets Kretslopp	8
4.2	Grundvatten och Grundvattenmagasin	8
4.3	Grundvatten i Sverige	9
4.4	SGU:s Grundvattenkartläggning	10
4.5	Geologi i Kalmar län	10
4.5.1	Berggrund	10
4.5.2	Jordarter	10
4.6	Hydrologi & Dricksvattenförsörjning	10
4.7	Undersökningsområdet Verveln—Gullringen	11
4.7.1	Geologi	11
4.7.2	Grundvattenmagasinet	12
5	Georadar	16
5.1	Uppbyggnad och Metodik	16
6	Material	21
7	Metod	21
7.1	Tolkning av Georadarprofiler	21
7.2	Mäktighetsmodell	22
7.3	Area och volymeräkningar	22
8	Resultat & Diskussion	23
8.1	Jorddjup och isälvsedimentens mäktighet	23
8.2	Jordmäktighetsmodell över Verveln—Gullringen	23
8.3	Magasinvolym	23
8.4	Resultat jordmäktighetsmodell	25
8.5	Grundvattenvolym—Enligt tolkad grundvattennivå	27
8.6	Grundvattenvolym—Enligt grundvattennivå från mätstation	27
9	Slutsatser	27
10.	Tack	27
11.	Referenser	28
	Bilaga 1 - Tolkade profiler R79	29
	Bilaga 2 - Tolkade profiler R74, R77, R78 & R80	30
	Bilaga 3 - Tolkade profiler R75, R81, R82 & R83	31
	Bilaga 4 - Tolkade profiler R84, R86, R87 & R88	32
	Bilaga 5 - Tolkade profiler R98 & R99	33
	Bilaga 6 - Regional berggrundskarta Kalmar län	34
	Bilaga 7 - Regional jordartskarta Kalmar län	35

Omslagsbild: Karta över det potentiella grundvattenmagasinet Verveln-Gullringen.

Tolkning av georadarprofiler över grundvattenmagasinet Verveln - Gullringen i Kalmar län

HAIDER FARAJ

Faraj, H., 2019: Tolkning av georadarprofiler över grundvattenmagasinet Verveln - Gullringen i Kalmar län. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 562, 35 sid. 15 hp

Sammanfattning: I Sverige utgörs majoriteten av våra grundvattenresurser av isälvavlagringar i form av rullstensåsar och isälvsdeltan bestående av sand och grus. Isälvavlagringarna är utan tvekan de mest betydelsefulla grundvattenförekomsterna för Sveriges dricksvattenförsörjning. Mer än 80% av landets alla vattenverk utnyttjar vatten från dessa resurser. En ojämn fördelning av grundvattenresurserna i kombination med pågående klimatförändringar kan leda till vattenbrist i landet. Riskerna för vattenbrist förekommer framförallt i områden som är belägna i Sydöstra Sverige där låga grundvattennivåer redan har konstaterats. Sveriges geologiska undersökning (SGU) har i uppdrag av regeringen tilldelats uppgiften att utöka kartläggningen och karaktäriseringen av grundvattenresurser i särskilt utsatta områden. I samband med grundvattenkarteringen i Södra Östersjöns vattendistrikt (projekt-id:83-015) undersöktes grundvattenmagasinet Verveln – Gullringen i Kalmar län med hjälp av georadar. Georadar är en geofysisk undersökningsmetod där pulser av elektromagnetiska vågor inom frekvensintervallet 20 – 1000Mhz skickas ned i marken. En del av pulserna reflekteras tillbaka mot markytan när de stöter på variationer i markens magnetiska permeabilitet (μ) och elektriska permittivitet (ϵ). Reflektionerna detekteras av en mottagare vid markytan där resultatet visas i form av en georadarprofil. I georadarprofiler kan lagergränser, grundvattenytor och nedgrävda föremål identifieras. I detta arbete har georadarprofiler från SGU:s mätningar över Verveln – Gullringen tolkats i syfte att skapa ett bättre geologiskt underlag för att bedöma grundvattenförhållanden i magasinet. Syftet har även varit att bestämma jordlagrens mäktighet, berggrundens morfologi och att beräkna magasinet volym samt vattenmängd. Som stöd för tolkningsarbetet har jordartskartor, brunnsdata samt litteratur använts. Tolkade georadarprofiler användes som underlag för att skapa en mäktighetsmodell över området. Mäktighetsmodellen kan användas som underlag för framtida volymeräkningar av magasinet. I modellen framkommer att avlagringens jordlager har en mäktighet som varierar mellan 4m – 20m. Det framkommer även att majoriteten av sedimenten har mäktigheter inom intervallet 4m – 8m. Vidare har ett större samt sammanhängande område med mäktigheter inom intervallet 8m – 16m identifierats i magasinets centrala delar. För att få tillgång till stora vattenmängder och för att minska påverkan från yttre faktorer så rekommenderas att dricksvattenbrunnar placeras i dessa områden d.v.s. där jordmäktigheten är större. Under arbetets gång har även magasinets jordvolym bestämts till 79 miljoner m^3 vilket motsvarar en vattenkapacitet på ~12 miljoner m^3 när jordlagrens porositet är approximerad till 15%.

Nyckelord: grundvatten, grundvattenmagasin, hydrogeologi, dricksvattenförsörjning, Kalmar län, georadar, geofysik, isälvavlagringar, Sveriges geologiska undersökning, SGU, klimatförändringar

Handledare: Mikael Erlström & Mattias Gustafsson (SGU)

Ämnesinriktning: Kvärtärgeologi

*Haider Faraj, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige.
E-post: Haider.Faraj.5803@student.lu.se*

Interpretation of GPR sections to gain insight into the groundwater aquifer Verveln - Gullringen in Kalmar county, Sweden

HAIDER FARAJ

Faraj, H., 2019: Interpretation of GPR sections to gain insight into the groundwater aquifer Verveln - Gullringen in Kalmar county, Sweden. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 562, 35 pp. 15 hp (15 ECTS credits) .

Abstract: Most of Sweden's groundwater resources are made up from glaci-fluvial deposits such as eskers and deltas that consist of sand and gravel. Glaci-fluvial deposits are certainly the most significant groundwater resources for drinking water supplies in Sweden. Groundwater resources are used to supply more than 80% of all the existing water plants nationwide. These important resources have an uneven distribution across the country, an uneven distribution in combination with recent climate changes can lead to water scarcity. High risk of water scarcity is already evident in areas such as Kalmar county in southeast Sweden where low groundwater levels have been noted. The Swedish government assigned the geological survey of Sweden (SGU) the task to expand the mapping and characterization of groundwater resources in high-risk areas. Within the assigned task, SGU performed a ground penetrating (GPR) survey on Verveln – Gullringen, a glaci-fluvial groundwater aquifer in Kalmar county. Ground penetrating radar (GPR) is a geophysical method that works by emitting electromagnetic pulses with frequencies in the range of 20 – 1000 MHz into the ground. Parts of the emitted EM – pulse is reflected towards the surface when it encounters changes in the magnetic permeability (μ) and electrical permittivity (ϵ) of the subsurface materials. The reflections are detected by a detecting device on the surface. The resulting reflection patterns are shown in a radargram, also known as a GPR-section. Subsurface boundaries, groundwater tables and other subsurface objects will usually show as reflections that can be determined in a GPR – section. In this thesis GPR - sections from SGU: s survey on Verveln – Gullringen were obtained and interpreted for the purpose to create improved geological material to assess the aquifer. The purpose with this thesis has also been to determine the thickness of the sediments that build up the aquifer, the morphology of the underlying bedrock and to estimate the volume of the aquifer and its water content. For this purpose, soil maps, information from water wells and literature was used to support the interpretation process. The interpreted sections were used to create a model where the thickness of the sediments in the area are displayed. The model shows that the sediments have a varying thickness from <4m – 20m but most of the sediments have a thickness that range from 4m – 8m. Further, a relatively large and continues area in the central parts of the aquifer was identified, in this area the sediments exhibited thicknesses in the range of 8m – 16m. It is recommended to locate water wells in these areas where large amounts of water can be obtained and where the risk of pollution is reduced. The volume of the aquifer was also determined to 79 million m³ and the total water capacity was determined to 12 million m³. The sediment thickness model can be used for future water content estimations.

Keywords: groundwater, aquifer, hydrogeology, drinking water, Kalmar county, ground penetrating radar, GPR, geophysics, glaci-fluvial deposits, geological survey of Sweden, SGU, climate change

Supervisor(s): Mikael Erlström & Mattias Gustafsson (SGU)

Subject: Quaternary Geology

Haider Faraj, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: Haider.Faraj.5803@student.lu.se

1 Introduktion

Jorden, även kallad för den blå planeten, har en yta som består av ca 71% vatten. Vatten är livets elixir - det är den viktigaste naturresursen som behövs för att upprätthålla liv. Detta gäller både för människor, djur och växter men även för mikroorganismer bestående av enskilda celler. Jordens totala vattenreservoar har bestämts till ca. 1.5 miljarder km³, men enbart 1% utgörs av sötvatten som är den enda drickbara formen av vatten för oss människor (Andréasson 2015). Den globalt växande populationen ökar människans behov av rent dricksvatten. Ungefär 1/3 (två miljarder) av alla människor på jorden beräknas leva under kritisk vattenbrist minst en månad om året, medan 1/6 (en halv miljard) av alla människor lever utan tillgång till rent dricksvatten året runt. Fig. 1 visar områden i världen med avseende på vattenbrist under ett antal månader om året under tidsperioden 1996 – 2005. (Mekonnen & Hoekstra 2016).

I Sverige finns en mycket god tillgång till sötvattenresurser i form av ytvatten och grundvatten som används för att producera dricksvatten till landets befolkning på ca 10 miljoner människor. I Sverige finns totalt 1750 vattenverk som producerar ca 900 miljarder L dricksvatten/år, omkring 1450 vattenverk försörjs av vatten från landets grundvattenresurser. Det beror på att grundvatten är mycket tillgängligt för uttag samt att det är den renaste formen av vatten på land. Det krävs därför få reningssteg för att omvandla grundvatten till dricksvatten vilket i sin tur innebär att processen är ekonomiskt gynnsam. Många grundvattentillgångar har även så rent vatten att de direkt kan användas som dricksvatten utan att behöva renas (Svenskt vatten 2019) Trots den goda tillgången av sötvattenresurser i Sverige så är tillgängligheten begränsad i vissa delar av landet. Det beror bland annat på att ytvatten- och grundvattenresurserna är ojämnt fördelade. Den ojämn fördelningen av resurser i kombination med pågående klimatförändringar medför en ökad risk för vattenbrist i vissa områden. Det har fastställts att torrperioden under den svenska sommaren har förlängts med ca 2 veckor under de senaste 20 åren. Förändringen påverkar det hydrologiska kretsloppet genom ökad vattenavdunstning som i sin tur leder till en minskad grundvattenbildning (Eveborn et al 2017). De särskilt

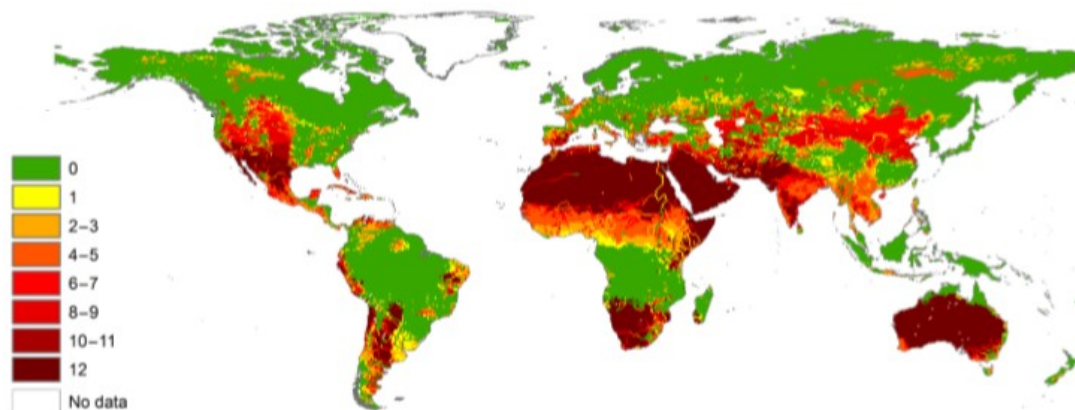
utsatta områdena är framförallt belägna i sydöstra Sverige där grundvattenbildningen redan är låg (Blad et al. 2009).

Sveriges geologiska undersökning (SGU) har i uppdrag av regeringen tilldelats uppgiften att utöka kartläggningen och karaktärisering av grundvattenresurser i särskilt utsatta områden i Sverige. Grundvattenkartläggningen är en viktig del av myndighetens arbete med att säkra landets framtida vattenförsörjning. Kartläggningen har som syfte att ge en översiktlig bild av grundvattenmagasinens utbredning, hydrauliska egenskaper, grundvattnets strömningsriktning och uttagsmöjligheter. (Nationalencyklopedin 2019a). Som en del av SGU:s kartlägningsarbete i Södra Östersjöns vattendistrikt utfördes år 2015 georadarmätningar över grundvattenmagasinet Verveln – Gullringen i Kalmar län. I detta examensarbete kommer georadar mätningar över grundvattenmagasinet Verveln – Gullringen tolkas och bearbetas som en del av SGU:s kartlägningsarbete.

Georadar är en geofysisk undersökningsmetod som används för att undersöka geologiska förhållanden, arkeologiska fornlämningar eller föremål nedgrävda under markytan. Den första kända undersökningen av nedgrävda föremål med ett georadarsystem kan spåras till Tyskland i början av 1900-talet. Georadarsystem genomgick en omfattande utveckling i samband med Vietnamkriget (1955 – 1975) då amerikanska militären utvecklade systemet för att lokalisera underjordiska tunnlar konstruerade av fienden. (Reynolds 1997) Idag har georadar en mycket användbar funktion vid karakteriseringen av grundvattenmagasin i isälvsavlagringar. Det beror bland annat på att lagergränser, jordmäktigheter och grundvattenytor kan identifieras på ett tids- och kostnadseffektivt sätt. (Jeppsson 2017) Mer om georadars funktion och uppbyggnad kommer att beskrivas längre fram i detta arbetet.

2 Syfte

I det här arbetet har georadarprofiler från SGU:s mätningarna över Verveln – Gullringen tolkats i syfte att ge ett bättre geologiskt underlag för att bedöma ett potentiellt grundvattenmagasin i området. Syftet med



Figur 1. Världskartan visar förekomst av vattenbrist under ett visst antal månader per år (0 till 12 månader) för årsperioden 1996 – 2005. Stora delar av världen som bland annat Nordafrika, Australien och Nordamerikas västkust har hög vattenbrist. Andra områden som exempelvis Nordeuropa där Sverige är beläget har låg eller ingen vattenbrist. Bildkälla: (Mekonnen & Hoekstra 2016)

arbetet är att bedöma jordlagrens mäktighet och den underliggande berggrundens morfologi för att skapa en mäktighetsmodell över isälvssedimenten i området. Modellen kommer att användas för att uppskatta grundvattenmagasinets volym och vattenmängd. Förväntan är att använda resultat och befintlig information för att föreslå placering av uttagsbrunnar i det potentiella grundvattenmagasinet.

3 Avgränsning

Avgränsningar är oundvikliga på grund av arbetets begränsade tidsramar. Arbetets huvudsakliga syfte är att beskriva Verveln – Gullringen som är ett grundvattenmagasin i en isälvsavlagring därför kommer grundvattenförhållanden i morän och urberg endast att översiktligt beskrivas. En avgränsning är att trots grundvattenmagasinet är delvis beläget inom Östergötland län kommer denna del inte att beskrivas i arbetet. Magasinet är beläget vid gränsen mellan länen men Kalmar län har det juridiska ansvaret för magasinet (VISS 2019). Teorin som ligger till grund för georadarmetoden kommer att behandlas noggrant, däremot kommer bearbetningsprocessen av rådata att uteslutas. Skälet till detta är att den mottagna georadardatan redan blivit bearbetad (filtrerad och höjdkorrigerad) av SGU. Vid intresse hänvisas läsaren till *Ground Penetrating Radar Theory, Data Collection, Processing, and Interpretation: A Guide for Archaeologists* av Dojack 2012 där bearbetningsprocessen beskrivs.

4 Bakgrund

4.1 Hydrologi - Vattnets kretslopp

Allt vatten på jorden är fördelat i olika typer av vattenreservoarer som utgörs av:

- Saltvatten i oceaner (97,2%)
- Is och glaciärer (2,1%)
- Sötvatten i form av yt- och grundvatten (~1%)
- Vattenånga i atmosfären samt vatten i levande organismer (~0,001%)

Vattentransporten mellan dessa reservoarer beskrivs av den hydrologiska cykeln och sker genom avdunstning, nederbörd, ytavrinning och infiltration (fig. 2). Avdunstning sker då vatten transporteras till atmosfären i form av vattenånga. Det sker främst från öppna vattenytor som hav, sjöar och vattendrag men även från vattenrika markområden som våtmarker. Avdunstningsprocessen beror till stor del på vattnets yttemperatur, hög temperatur innebär mer avdunstning. Avdunstning är därför som störst kring ekvatorn där den inkommande solstrålningen är som högst. (Andréasson 2015). Vattenånga som bildas vid avdunstning blandar sig med luften och bidrar till en ökad luftfuktighet. Luftens kapacitet att hålla vatten sjunker med temperaturen vilket leder till kondensation och bildning av små vattendroppar. När den fuktiga luften stiger i atmosfären, kondenseras vattenångan till vattendroppar och bildar moln. Vindturbulens bidrar till att vattendropparna kolliderar och slås samman till större vattendroppar. Den processen kallas för kollisionstillväxt (koalescens). När vattendropparna är tillräckligt stora (0,1 – 6 mm i diameter) faller de till marken som ne-

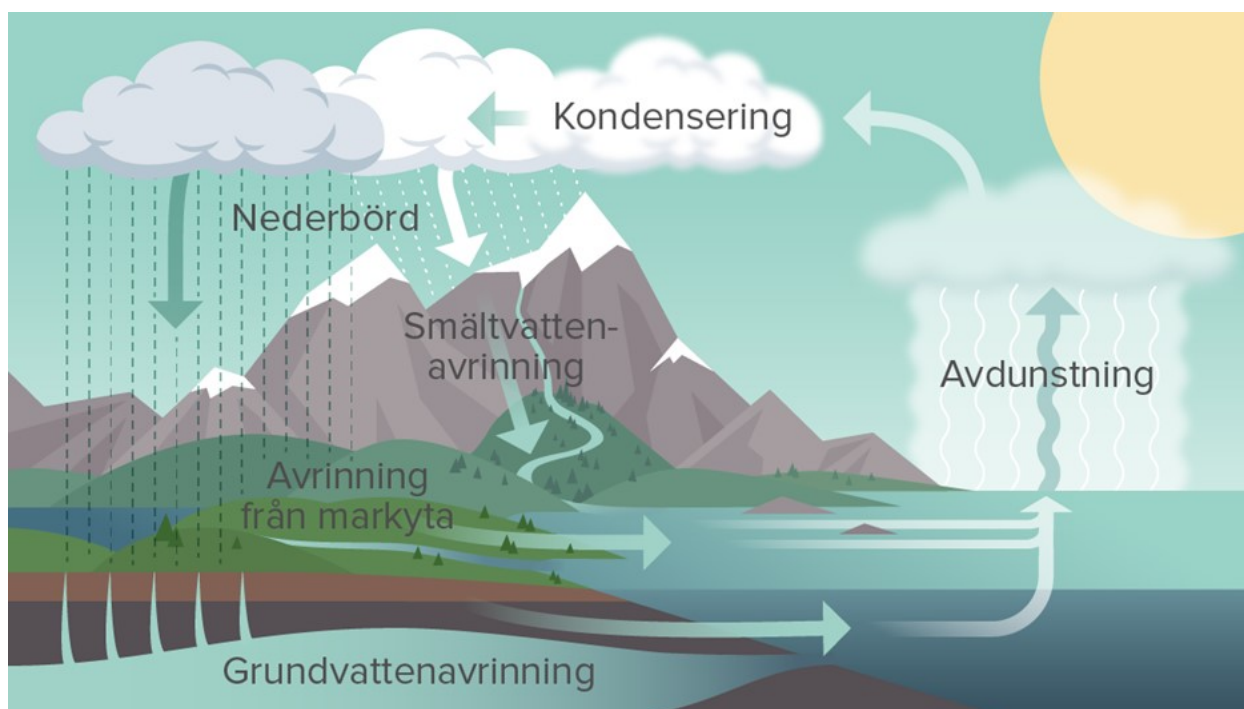
derbörd. Beroende på temperaturen kan detta ske i form av regn, snö eller hagel (Bogren et al. 2008). Ca 75% av all nederbörd sker över haven där vattnet kommer att avdunsta och återgå tillbaka till atmosfären. Mindre andel av nederbörd (ca 25%) sker över kontinenterna och leder till ytavrinning och infiltration. Ytavrinning är en process där vatten i form av vattendrag rinner från ett högre beläget område till en ytvattenreservoar eller hav. Förbindelser mellan avrinningsområden och ytvattenreservoarer (ex. sjöar) är begränsade av vattenmängd i närliggande vattendrag (ex. flod). Det beror på att vatten måste passera olika höjdlägen under sin ytavrinning (Andréasson 2015). Nederbörd kan även sippra genom marken och bilda grundvatten. Det sker genom infiltration vilken innebär att vatten passerar jordlagren genom mikroskopiska hålrum (porer). Storleken och mängden av porerna beror på jordlagrens uppbyggnad och sedimentens kornstorlek. Vatten tränger lättare genom jordarter med grövre kornstorlek såsom grus (2 – 63 mm) men kan även passera genom lera med kornstorlek < 0,002mm. Det sistnämnda sker väldigt långsamt. Vatten kan även förflytta sig i sprickor i berggrunden för att senare tränga ut direkt till ytvattenreservoarer och hav för att börja om den hydrogeologiska cykeln (fig. 2). Den hydrologiska cykeln följer en global vattenbalans som anges av:

$$\text{Nederbörd} = \text{avdunstning} + \text{vatten lagring} + \text{avrinning}$$

4.2 Grundvatten och Grundvattenmagasin

Grundvatten utgör den största sötvattenreservoaren på kontinenterna och det är främst den vattentform som vi människor är beroende av. Mängden vatten som infiltrerar och bildar grundvatten beror bland annat på förekomsten av vegetation, markens topografi och jordarternas genomsläpplighet. Grundvatten uppträder i markens två zoner: en övre omättad markvattenzon och en nedre mättad grundvattenzon. I den omättade markvattenzonen är alla porer inte helt vattenfyllda och vatten tenderar att ha en nedåtriktad rörelse. I den mättade grundvattenzonen är alla porer däremot helt vattenfyllda och vatten tenderar att förflytta sig lateralt och följa topografin. Övergången mellan markvattenzonen och grundvattenzonen uppträder i form av en grundvattenyta. Grundvattenytans position kan vara svår att urskilja i marken men den uppträder som en faktisk vattenyta i en brunn. (Andréasson 2015). Grundvattenytan anges vanligtvis som grundvattennivån i meter med ett minustecken framför som tydliggör att nivån som anges är under markytan, exempelvis: -3,5 m eller -2,5 m.

Goda infiltrationsförhållanden och grundvattenbildning är inte tillräckliga för att ge upphov till grundvattentillgångar. Grundvattentillgångar ska vara åtkomliga för människor och samhället därför krävs geologiska enheter med stor sammanhängande total porvolym eller spricksystem där grundvatten kan magasineras. Det ska även finnas möjlighet för vattenuttag från grundvattentillgång (Eveborn et al 2017). Exempel på jordarter och bergarter med god magasineringsförmåga



Figur 2. Illustration som visar den hydrologiska cykeln där vattentransporten mellan olika vattenreservoarer på jorden beskrivs. Vattentransporten sker genom följande processer: avdunstning, nederbörd, ytavrinning och infiltration. Bildkälla: www.Clio.me/se

är: okonsoliderade sand- och grusavlagringar, porös kalk- och sandstensberggrund samt sprickrik berggrund. En geologisk formation där genomsläppligheten och magasineringsförmågan är god och där formationerna är grundvattenförande kallas för grundvattenmagasin (Fetter 2001).

4.3 Grundvatten i Sverige

I Sverige utgörs majoriteten av våra grundvattenmagasin av grundvattenförande sand- och grusavlagringar (isälvavlagringar). Avlagringarna uppträder vanligtvis i form av rullstensåsar eller isälvsdeltan som består av sorterade sediment inom kornstorlekarna sand och grus (fig. 3). Isälvavlagringarna bildades under den senaste istiden (Weischelistiden) och i samband med dess avsmältning (SGU 2009). Deras förekomst är spridd över hela landet och de varierar i utbredning och i mäktighet, se fig. 3. Sveriges vanligaste jordart är morän, den består av osorterat sediment. Morän har en låg vattengenomsläpplighet på grund av dess höga innehåll av ler- och siltpartiklar samt en hög kompressionsgrad. Vattenförekomsterna i tätare jordlager med morän trots allt vara tillräckliga för att försörja enskilda hushåll (SGU 2009). Av alla ovan nämnda grundvattenmagasin är isälvavlagringar utan tvekan de mest betydelsefulla grundvattenförekomsterna för Sveriges dricksvattenförsörjning (Andréasson 2015). Andra betydelsefulla grundvattentillgångar förekommer även i berggrunden, framförallt i den yngre fanerozoiska berggrunden (fanerozoikum 541 miljoner år sedan - nutid), som utgörs av porösa sedimentära bergarter som kalk- och sandstenar. Stora och viktiga grundvattenmagasin i sedimentär berggrund påträffas framförallt i sydvästra och nordöstra delarna av Skåne,

Kristianstadslätten, samt i Gotland (fig. 4). Sveriges kristallina urberg utgörs till stor del av bergarter som gnejs och granit. I urberget uppträder grundvatten endast i sprickor och förkastningszoner. Grundvattenförekomsterna i sprucket berg kan vara av betydelse, framförallt om berget är tillräckligt uppsprucket eller om det finns större sprickzoner där vattenmängderna är tillräckligt stora (Andréasson 2015).

4.4 SGU:S Grundvattenkartläggning

Sveriges geologiska undersökning (SGU) är den statliga myndighet i Sverige som är ansvarig för att tillhandahålla geologisk information om berg, jord och grundvatten. SGU:s viktigaste uppgifter består av att stödja utvecklingen av den svenska gruv- och mineralindustrin, att stärka den geologiska forskningen i Sverige och att främja användningen av geologisk information i samhället. Myndigheten ansvarar även för det nationella miljö kvalitetsmålet *Grundvatten av god kvalitet*, ett av sammanlagt 16 miljö kvalitetsmål som fastställts av svenska riksdagen (Nationalencyklopedin 2019a). Kartläggningen av Sveriges grundvattenförekomster är även en av SGU:s viktiga uppgifter. Kartlägningsarbetet inleds vanligtvis med en sammanställning av tidigare undersökningar som har genomförts i området. Platsens geologiska förutsättningar samt förekomsten av avlagringar som kan vara grundvattenintressanta undersöks genom att studera jordarts- och berggrundskartor över området. Inventering av brunnar i eller i närheten av området utförs och grundvattennivåerna mäts. Det förekommer även att SGU använder sig av geofysiska undersökningsmetoder i samband med kartlägningsarbetet. Undersökningsmetoder som refraktionsseismik och georadarundersökningar används framförallt för att

undersöka lagerförhållanden och sedimentmäktigheter i grundvattenmagasinen.

SGU:s kartläggningsarbete är idag indelat i fem projekt, ett för varje enskilt vattendistrikt i landet, dessa utgörs av: Bottenviken, Bottenhavet, Västerhavet, Norra Östersjön och Södra Östersjön. Inom projektet *Grundvattenkartering – Södra Östersjöns vattendistrikt*, (projekt-id:83-015) har Verveln-Gullringen, ett grundvattenmagasin som är beläget delvis i Vimmerby kommun, Kalmar län samt i Kinda kommun, Östergötlands län (VISS 2019). I samband med kartläggningen år 2015 genomförde SGU georadarmätningar över magasinet och sedan dess har georadarmätningarna inte tolkats och en fördjupad analys av magasinet har inte utförts.

4.5 Geologi i Kalmar län

4.5.1 Berggrund

Graniter som gemensamt kallas för Smålands-Värmlandsgraniter har stor utbredning i länet. Det förekommer även gångbergarter som diabas och porfyr i graniten. Vulkaniska bergarter i form av porfyryr, eller så kallade Smålands-porfyryr förekommer framförallt i ost-västliga stråk i ungefärlig höjd med Oskarshamn (Länsstyrelsen 1997). I länets norra delar förekommer även ortognejs med andesitisk till dacitisk sammansättning (Hagström 2013). Länets äldsta bergarter består av leptiter och kvartsiter som tillhör västviksformationen och de återfinns i liten utsträckning i området omkring Västervik. Yngre sedimentära och vulkaniska bergarter från paleoproterozoikum (541 ma – nutid) består av lerskiffer, gråvacka, arkos och andra basaltiska vulkanbergarter (Hagström 2013). Längs Kalmars sydöstra kust finner man även den kambriska kalmarsundssandstenen som präglas av rörformade spårfossil efter masken *Scolituhus linerai* därför är bergarten även känd som Scholithussandstenen (Länsstyrelsen 1997). På Öland utgörs den yngre sedimentära berggrunden av fossilrik ordovicisk kalksten, siltsten, lersten och alunskiffer (Hagström 2013). Se bilaga 6 där regional berggrundskarta över Kalmar län finns bifogad.

4.5.2 Jordarter

Kalmar län täcks till 60% av morän. Moräntäcket har omfattande utbredning i länet och mäktigheten varierar mellan 5 och 20 m. Täcket tunnare ut i de norra delarna av länet där ett sprickdalslandskap dominerar. (Antal et al. 1998). Majoriteten av moräntäcket avsattes i samband med Weichselidens avsmältning för omkring 14 000 år sedan. Moränens sammansättning varierar mycket i länet beroende på vilka bergarter som isen eroderat och avsatt. Normalblockig morän med en sandig sammansättning är vanligast på fastlandet, men på Öland dominerar morän med en lerigare sammansättning (Hagström 2013). Moräntopografien i länet är framförallt beroende av den underliggande berggrundens ytform. Glaciala landformer som moränkullar och drumliner är även vanliga i området. Drumliner och drumlinoider har i regel en nordväst-sydöstlig längdsträckning som följer isrörelseriktningen i området (Länsstyrelsen 1997).

I Kalmar län förekommer det även en del isälvs sediment som framförallt består av sand och grus. Isälvsavlagringarna bygger upp välformade rullstensåsar i de södra och mellersta delarna av länet. Åsarnas mäktighet är omkring 5–20 m och majoriteten har en nordvästlig riktning. De största åsarna i området är Tunaåsen, Nybroåsen, Bäckeboåsen och Högbyåsen. Isälvs sediment förekommer även som isälvsdeltan som har avsatts proglacialt, vid isfronten, dessa är utspridda över hela länet. De mäktigaste avlagringarna är belägna vid Vimmerby, Målilla och Högby (Antal et al. 1998). Dödisgropar och dödislandskap är även vanliga i länet. Högsta kustlinjen (HK) i Kalmar län ligger på ca 70 m. ö.h. i länets södra delar och på ca 140 m. ö .h i de norra delarna. Öland ligger under HK. Hela ön har varit under vatten (Hagström 2013). Svallsediment, sand, grus och klapperstenar förekommer under HK och vanligtvis i anslutning till isälvsavlagringar samt moränlandformer. Avlagringarna har mäktigheter omkring några meter i området. Organiska jordarter har en begränsad utbredning i området och de utgörs framförallt av torv (Antal et al. 1998). Se bilaga 7 där regional jordartskarta över Kalmar län finns bifogad.

4.6 Hydrologi & Dricksvattenförsörjning i Kalmar län

Kalmar län befinner sig i regnskuggan av det småländska höglandet. Länets geografiska belägenhet resulterar i en låg årsnederbörd på 500 – 600 mm. Låg årsnederbörd i kombination med varma sommarperioder kan innebära perioder med låg grundvattenbildning i länet (Länsstyrelsen 1997). Trots den låga årsnederbörden finns omkring 2000 sjöar i länet men deras geografiska fördelning är väldigt ojämn. Flest sjöar finns i länets norra delar där det förekommer mycket förkastningar och sprickor i berggrunden där vattnet kan ansamlas. I den sydöstra länsdelen är däremot förekomsten av sjöar mindre frekvent. Flertalet av sjöarna i länet anses ha högt naturvärde på grund av en mångfald i naturmiljöer samt dess flora och fauna. Dessa kan vara känsliga för vattenuttag och för annan mänsklig aktivitet. Exempel på sjöar med särskilt höga naturvärden är Fälgaren, Hummeln och Allgunnen. I länet finns även många vattendrag och majoriteten av dessa har en nordvästlig-sydöstlig utsträckning (Länsstyrelsen 1997).

I arbetet med att säkerställa tillgången till vattenresurser för vattenförsörjningen har Kalmar länsstyrelse tagit fram en regional vattenförsörjningsplan under år 2013. Länets dricksvattenbehov har beräknats till ca 17,5 miljoner m³ per år. Dricksvattenbehovet underhålls av ca 30% grundvatten, 30 % grundvatten bildad genom konstgjord infiltration och resterande 40% utgörs av ytvatten. Länets befolkningsmängd uppgick år 2018 till 243 718 invånare (SCB 2019). Invånarnas totala vattenförbrukning inklusive industrier och jordbruk har beräknats till 58 miljoner m³ per år varav 17,5 miljoner m³ utgör dricksvatten. Det maximala bedömda vattenuttaget i länet är 87.3 miljoner m³. Det maximala vattenuttaget bedöms inte vara tillräckligt för vattenförsörjningen vid ett antaget torrår år 2100 (Hagström 2013). I planen har länsstyrelsen identifierat sammanlagt 28 vattenresurser som regionalt viktiga för länets dricksvattenförsörjning. Vattenresurserna



Figur 3. Grundvattenförekomster i Sveriges isälvsavlagringar. Förekomsterna är indelade av SGU utifrån storleken på deras bedömda grundvattentillgång. Förekomsterna är utspridda över hela landet och majoriteten utgörs av medelstora och små förekomster. Figuren är hämtad från (SGU 2009).



Figur 4. Grundvattenförekomster i södra Sveriges sedimentära berggrund. Förekomsterna är indelade av SGU utifrån storleken på deras bedömda grundvattentillgång. Stora tillgångar förekommer framförallt i Skånes sedimentära berggrund. Figuren är hämtad från (SGU 2009).

utgörs av 14 grundvattenmagasin, 7 sjöar och 7 vattendrag. Samtliga 28 vattenresurser är listade i tabell 1 och deras geografiska läge visas i fig. 5. Alla förutom 2 (Resmo & Tvetformationen) av de sammanlagt 14 grundvattenmagasinen utgörs av isälvsavlagringar. Ytvatten från sjöarna som ligger i närheten till isälvsavlagringarna kan användas för en ökad grundvattenbildningen genom konstgjord infiltration (Hagström 2013).

Ett av de regionalt viktiga grundvattenmagasinen som beskrivs av Hagström 2013 i den regionala vattenförsörjningsplanen utgörs av Södra -Vi-åsen. I sin helhet omfattar Södra -Vi-åsen fyra grundvattenmagasin belägna vid: Södra Vi, Fågelhem, Sundholm och Gullringen. I höjd med byn Södra Vi karaktäriseras avlagringen av åsnät och dödisgropar omgivna av grusfält. Avlagringen har en stor lateral utbredning i området. Avlagringens norra delar som är belägna mellan tätorten Gullringen och sjön Verveln utgörs av grundvattenmagasinet Verveln – Gullringen.

4.7 Undersökningsområdet Verveln – Gullringen

Rapporten fokuserar på området som sträcker sig mellan sjön Verveln och tätorten Gullringen, se undersökningsområdets omfattning i figur 7. Gullringen är en tätort i Vimmerby kommun med totalt 503 invånare (Nationalencyklopedin 2019b)

4.7.1 Geologi

Berggrunden i undersökningsområdet och dess omnejd utgörs till störst del av granitiska bergarter i form av monzodiorit och granodiorit. Det förekommer även mindre stråk av ryolit och gabbrodiorit utspritt i området (fig. 7). I områdets nordliga och sydliga delar förekommer gångbergarter i form av diabasgångar. I höjd med sjön Juttern framträder även sedimentär berggrund i form av sandsten (Gunar et al. 2005).

Urberget överlagras av en isälvsavlagring som utgör undersökningsområdets huvudsakliga intresse. Isälvsavlagringen är en del av Södra -Vi-

åsens nordliga delar som sträcker sig från tätorten Gullringen till sjön Verveln, se figur 6 där undersökningsområdet är markerat med grön heldragen linje. I höjd med tätorten Gullringen syns en utlöpare av avlagringen i form av en sandavlagring som fortsätter mot sjön Ören. Huvuddelen av avlagringen fortsätter som en dalfyllnad i nordvästlig riktning mot sjön Verveln. Materialet i dalfyllnaden utgörs framförallt av grus, det förekommer även åsryggar och torvfyllda dödishögar i avlagringen (fig. 8). Längs Vervelns västra strand präglas avlagringen av dödishålor, åsryggar, kullar och plåtår, en geomorfologi som tyder på ett komplicerat dödishöglanskap. Isälvsavlagringen fortsätter norrut i form av en delad avlagring och den tar slut i höjd med Korplev (Persson et al. 2009).

4.7.2 Grundvattenmagasinet

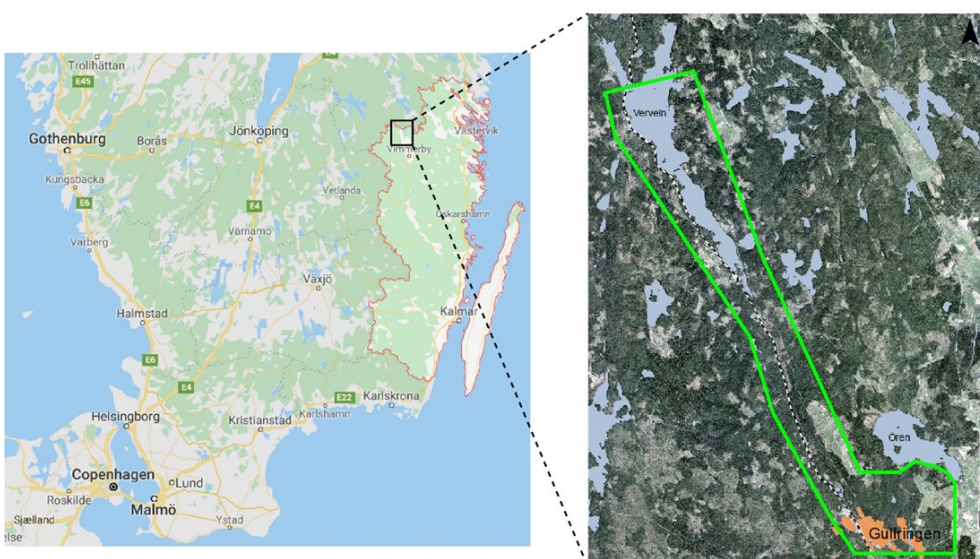
Grundvattenmagasinet Verveln-Gullringen är beläget i isälvsavlagringen Södra Vi-åsen. Verveln-Gullringen klassas som en porakvifär i sand och grus som har bildats under den geologiska tidsperioden kvartär (2,6 miljoner år sedan – nutid) (VISS 2019). Uttagsmöjligheterna bedöms vara *mycket goda eller utmärkta*. Storleken på uttagsmängderna bedöms vara 5–25 l/s eller 400 – 2000 m³/dygn (Pousette et al. 1981a & 1981b). I nuläget finns en grundvattentäkt i Örsåsa där uttag för dricksvatten sker. Grundvattnet bedöms ha en god kemisk och kvantitativ status enligt miljö kvalitetsnormerna för vatten. Det föreligger en osäker föroreningsrisk på grund av förekomsten av ett järnvägsspår som sträcker sig längs hela avlagringen (fig. 6). Föroreningsrisken är framförallt stor i samband med olyckor och på grund av spridningen av kontaminerat dagvatten från järnvägen. Det förekommer ett vattenskyddsområde i grundvattenmagasinet södra delar vid Örsåsa i höjd med tätorten Gullringen. Skyddsområdet fastställdes år 1984 av länsstyrelsen i Kalmar med syfte att skydda en vattentäkt bestående av en 13m djup grusfilterbrunn. Vid tidpunkten då skyddsområdet fastställdes så utnyttjades vattentäkten av ca 800 personer där medeluttaget uppskattades till 280m³/d. Vattenskyddsområdet har en area på 11,5 hektar där både brunnsområde samt skyddszon omfattas (08FS 1984:52)

Tabell 1. Tabell med grundvattenresurser som har pekats ut som regionalt viktiga för dricksvattenförsörjningen i Kalmar län. Sammanlagt är 28 vattenresurser listade i tabellen därav 14 grundvattenmagasin 7 sjöar och 7 vattendrag. Samtliga förutom de rödmarkerade magasinerna utgörs av isälvsavlagringar. Tabellen är modifierad efter Hagströms 2013.

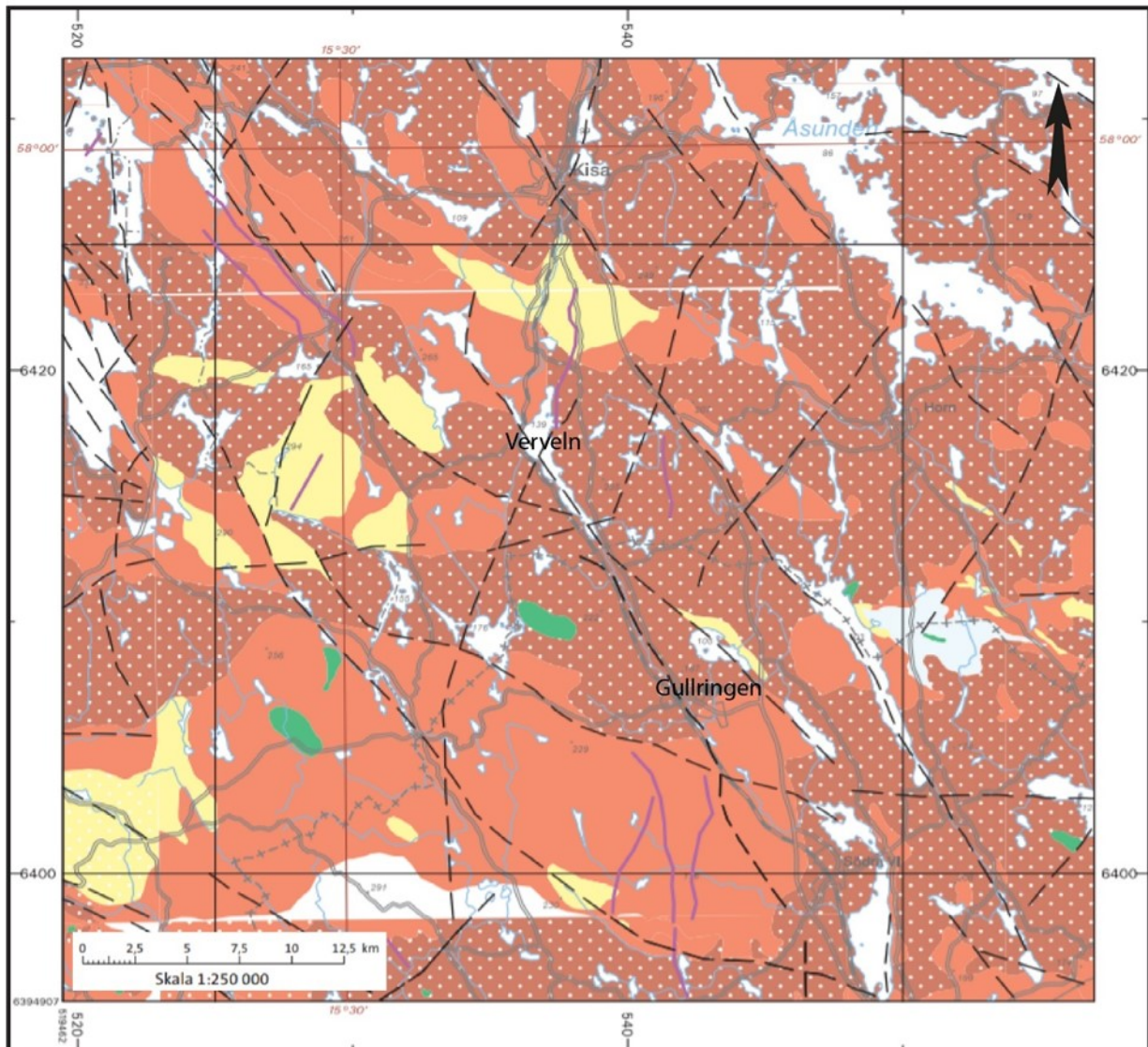
Grundvattenmagasin	Sjöar	Vattendrag
1. Edsbruk	15. Hjorten (vid Västervik)	22. Alsterån
2. Hultsfredsdeltat	16. Juttern	23. Botorpsströmmen
3. Målladeltat	17. Långsjön	24. Emån
4. Södra Vi-åsen	18. Storsjön	25. Silverån
5. Trånshultsdeltat	19. Läen	26. Hagbyån
6. Vimmerbyåsen	20. Uvasjön	27. Ljungbyån
7. Ydreforsformationen	21. Hummeln	28. Lyckebyån
8. Nybroåsen		
9. Löttorpformationen		
10. Resmo		
11. Rällaformationen		
12. Solbergafältet (inkl. Lindby)		
13. Strandskogen		
14. Tvetaformationen		



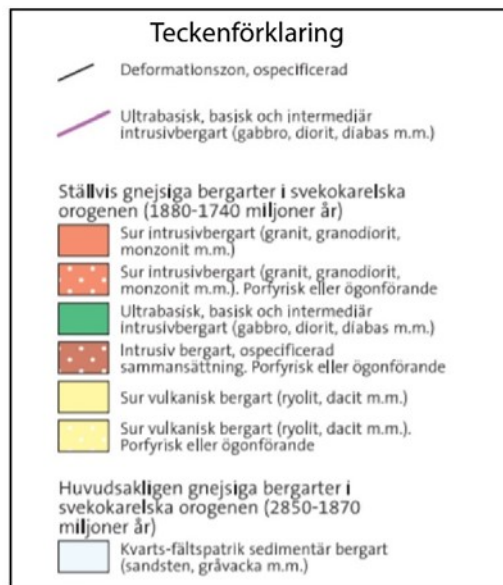
Figur 5. Karta som visar belägenheten av regionalt viktiga vattenresurser i Kalmar län. Södra Vi-åsen som Verveln – Gullringen är en del av har markerats med en röd rektangel. Figuren är modifierad efter Hagströms 2013.

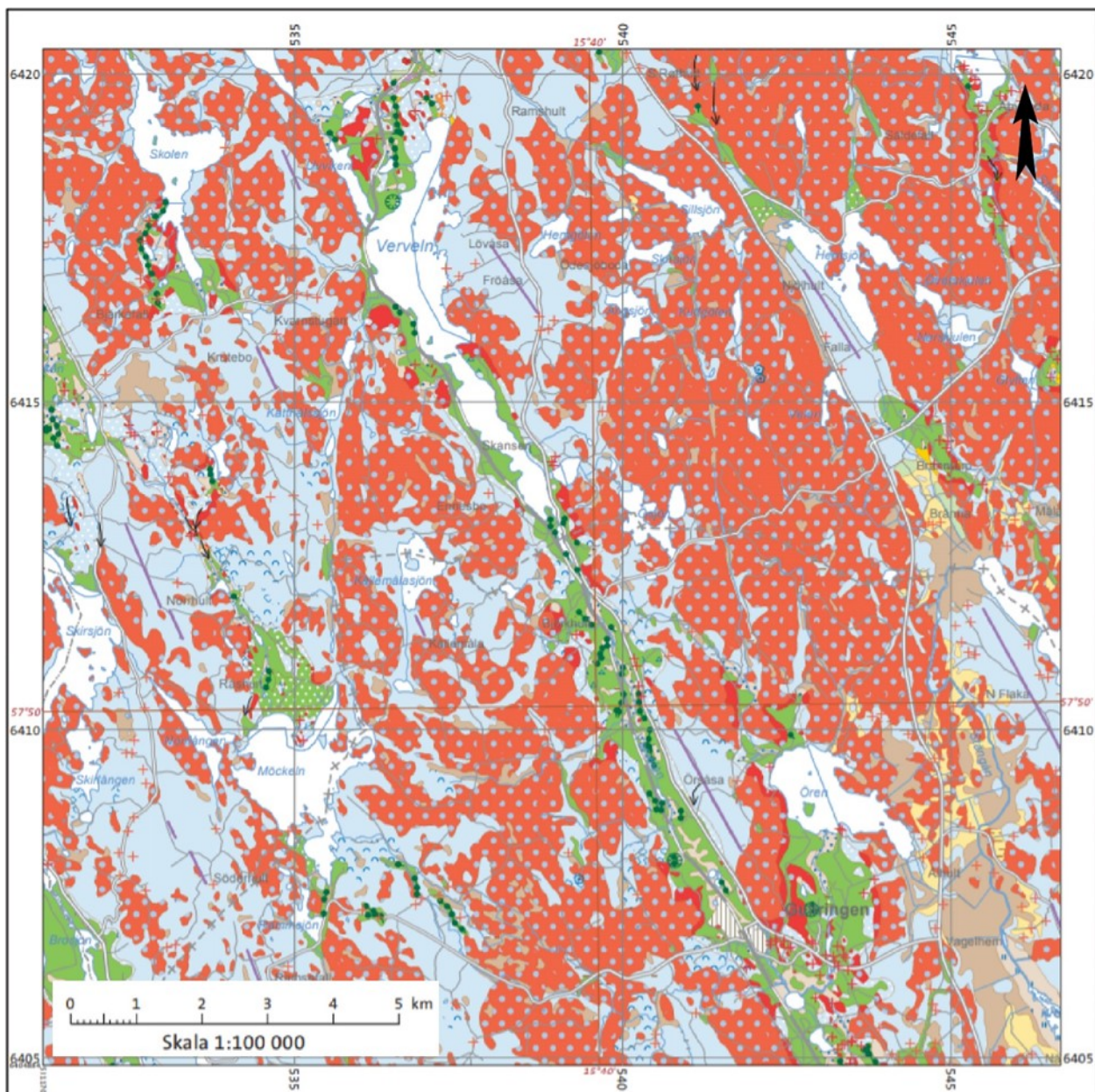


Figur 6. Karta som visar Verveln – Gullringens regionala belägenhet i Vimmerby kommun, Kalmar län och en förstordad lokal karta över området. Undersökningsområdets omfattning har markerat med en grön heldragen linje i den lokala karten. ©Google Maps, 2019

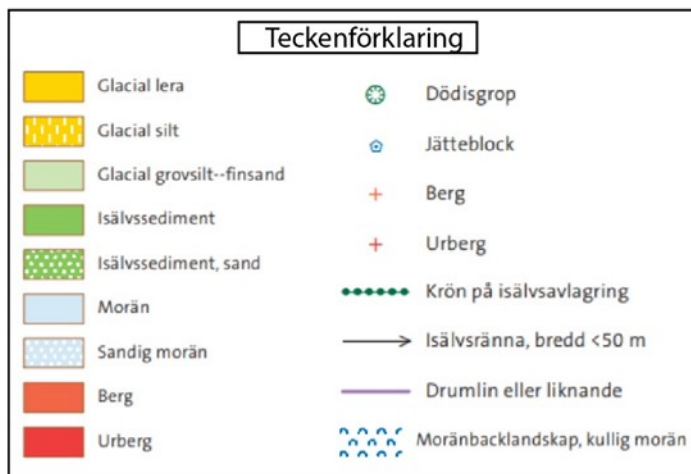


Figur 7. Berggrundskarta i skalan 1: 250 000 över undersökningsområdet. Modifierad efter Sveriges geologiska undersökning. Kartan har hämtats från SGU:s gratisjänst kartgeneratorm. ©Sveriges geologiska undersökning.





Figur 8. Jordartskarta i skalan 1: 100 000 över undersökningsområdet. Modifierad efter Sveriges geologiska undersökning. Kartan har hämtats från SGU:s gratistjänst kartgeneratorm. ©Sveriges geologiska undersökning.



5 Georadar

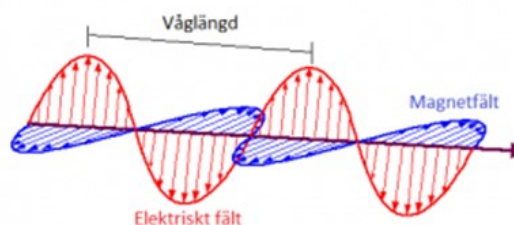
5.1 Uppbyggnad och Metodik

Ett georadarsystem är vanligtvis uppbyggt av fem komponenter: en sändarantenn som emitterar pulser av elektromagnetiska vågor (EM-vågor), en mottagarantenn som detekterar reflekterade vågor, en monitor som visar mätresultat, en kontrollenhet som styr sändaren och mottagaren samt någon form av positioneringsutrustning (GPS). Dessa komponenterna kan konfigureras på olika sätt för att utgöra ett fältmätningssystem anpassad för undersökning av utvald terräng. (Reynolds 1997 & Jepsson 2017).

Vid georadarundersökningar används elektromagnetiska (EM) pulser i form av radiovågor. Dessa emitteras från en sändarantenn och pulsen fortplantar sig i marken. När EM-pulsen stöter på lagergränser i marken kommer en del av vågpulsen att reflekteras och efter en viss tid att detekteras av en mottagarantenn vid markytan. Tiden det tar för pulsen att färdas från sändare och reflekteras till mottagare (gångtiden) registreras och visas i ett diagram med avseende på den reflekterande vågens energi. För varje emitterad puls registreras ett trace. Vågamplituden från reflekterade pulser är av störst intresse, därför omvandlas ett trace vanligtvis till ett scan där utvalda amplitudvärden som överstiger ett valt tröskelvärde. Sammanslagning av många scan ger upphov till ett en 2-dimensionell radargram även kallad för georadarprofil. I en georadarprofil finns vanligtvis två vertikala axlar, en som visar tvåvägstiden (i nanosekunder) och en fristående axel som visar djupet i meter (m). Det finns även en horisontell axel som visar sträckan av mätprofilen i meter (m). I fig. 9 redovisas en georadarprofil med dess tillhörande axlar. Från georadarprofil kan eventuella lagergränser eller objekt i marken synliggöras och tolkas. (Jepsson 2017). Framställning och tolkning av georadardata kommer att beskrivas längre fram i arbete.

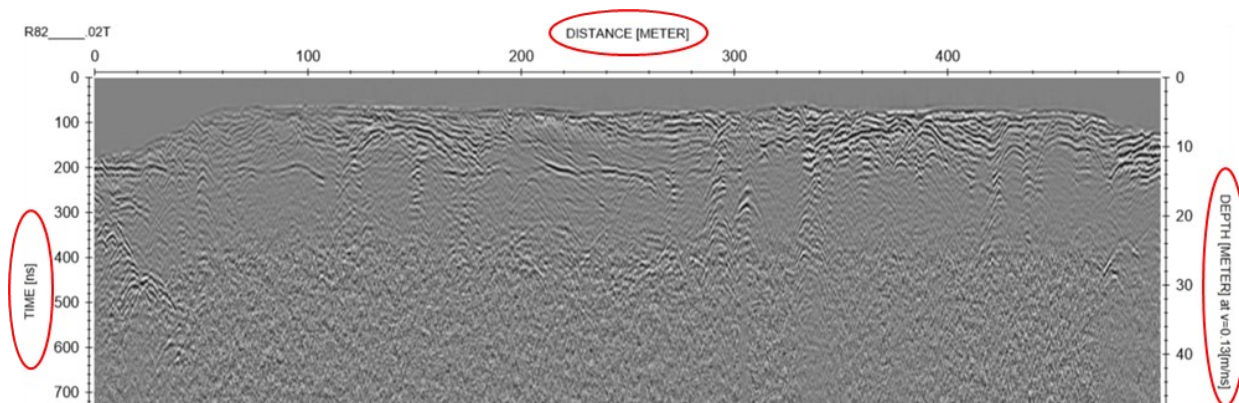
Fördelar med georadarundersökningar är att de är tidseffektiva och att mätinstrumentet inte behöver vara i direkt kontakt med marken. Mätinstrumentet kan vara monterat på en vagn som med hjälp av manskraft eller fordon kan föras längs önskat undersökningsområde. Georadarmätningar utförs vanligtvis med ett mätpunktsavstånd på omkring 0,2 – 0,3 m med profilavstånd på 5–100 m där avstånd mellan profiler och deras uträkning anpassas efter undersökningens ändamål och undersökningsområdets storlek (Jepsson 2017)

Georadar, som andra elektromagnetiska metoder, använder sig av elektromagnetiska vågor (EM-vågor) för att undersöka markens elektriska och magnetiska egenskaper. Elektromagnetiska vågor består av en elektrisk och en magnetisk komponent som oscillerar vinkelrätt mot varandra (fig 10) Energitransporten i vågen sker genom växelverkan mellan det elektriska vektorfältet (E-fältet) och det magnetiska vektorfältet



Figur 10. En elektromagnetisk våg med sin elektriska komponent i form av ett elektriskt vektorfält som växelverkar med den magnetiska vektorkomponenten H. Vågens energiutbredning har riktningen S. Bildkälla: <https://digitalkommunikation.diginto.se/rf-grunder/>

(H-fältet). Energin mellan E-fältet och H-fältet är jämnt fördelat i en elektromagnetisk våg. Vågen har även en utbredningsriktning S som visar intensiteten och riktningen av energiflödet (Fig 11). (Jepsson 2017).



Figur 9. Figuren visar en georadarprofil från mätningar som har gjorts på isälvsavlagringen Verveln – Gullringen. Radarprofilens olika axlar har markerats med en röd linje. Tidsaxeln "Time" visar tvåvägstiden i nanosekunder. Längdaxeln "Distance" visar mätprofilens sträcka i meter och djupaxeln "Depth" visar profilens djup i meter.

Georadarsändaren emitterar EM-puls med en mycket kort varaktighet (~20 ns) och mottagaren registrerar de reflekterade vågorna med en konstant frekvens på omkring 32 avläsningar per sekund (Reynolds 1997). Radarpulsens består av ett kontinuerligt spektrum av frekvenser (mellan 20 – 1000 MHz) där de med högst energi kallas för centrumfrekvenser. Pulsens energi fortplantar sig över en större area med ökat djup därför får pulsen en konformad form. Radarpulsens hastighet i luft och vakuum är likvärdig med ljusets hastighet (c) på 300 000 km/s. Radarpulsens hastighet (v) i ett medium kan beskrivas med hjälp av ekvation 1:

$$v = c \frac{1}{\sqrt{\epsilon \times \mu}}$$

Där magnetisk permeabilitet (μ) beskriver ett materials förmåga att magnetiseras av en EM-våg (Dojack 2012) och elektrisk permitivitet (ϵ) som beskriver ett materials förmåga att polariseras under påverkan av ett elektriskt fält (Nationalencyklopedin 2019b). Eftersom den magnetiska permeabiliteten (μ) kan antas vara 1 i de flesta geologiska material kan ekvation 1 förenklas till:

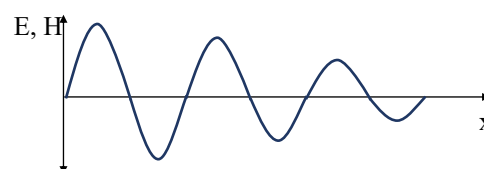
$$v = c \frac{1}{\sqrt{\epsilon}}$$

I tabell 2 anges den elektriska permitivitet (ϵ) samt radarpulsens hastighet (v) i olika geologiska material. (Jepsson 2017).

En georadarmätning har i regel en djupnedträngning på ca 0.5 – 10 m. Djupnedträngningen beror på materi-

alet som EM-vågen passerar och flera fenomen som kommer att beskrivas kortfattat i detta arbete.

När en EM-våg propagerar i marken har den en konformad spridning vilket innebär att energin fördelas över en större yta under färdens. Detta fenomen är känt som geometrisk dämpning och innebär en dämpning av EM-pulsens intensitet (fig. 11). I det så kallade närfältet, vilket gäller för georadarmätningar, avtar EM-pulsens amplitud med $1/x^3$ faktor där x är pulsens färdsträcka. (Jepsson 2017) Propageringsmaterialet har även en förmåga att absorbera och därmed dämpa en EM-puls genom att skapa motriktade elektriska och magnetiska fält. Dämpning av EM-vågor kan beskrivas med hjälp av en dämpningsfaktor (Δ) som beror på materialets elektriska konduktivitet (σ), magnetiska permeabilitet (μ) samt EM-signalens frekvens ($\omega = 2\pi f$ där $f = v / \lambda$.) och kan beskrivas med ekvation 3.



Figur 11 Schematisk representation av en signal från en EM-våg som den dämpas.

Tabell 2. Permittivitetvärden och radarpulsens hastighet i olika material och medium. Tabellvärden är hämtade från (Reynolds 1997 & Jepsson 2017).

Material	ϵ	v (m/ μ s.)
Luft	1	300
Färskvatten	81	33
Sand & Grus (torr)	3 – 5	130 – 170
Sand (torr)	3 – 6	120 – 170
Sand (vattenmättad)	25 – 30	55 – 60
Silt (vattenmättad)	10	95
Lera (vattenmättad)	8 – 15	86 – 110
Lera (torr)	3	173
Granit	5 – 8	106 – 120
Urberg	4 – 8	100 – 150

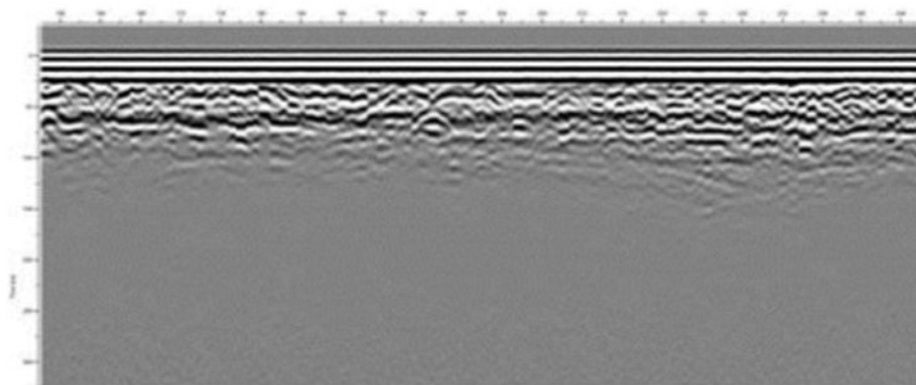
Där x är EM-pulsens färdsträcka. Den elektriska (E) och magnetiska (H) komponenten av en E våg dämpas med en $e^{-\Delta}$ faktor. Det innebär att material med hög konduktivitet (σ) som exempelvis lera kommer att orsaka en kraftig dämpning av signalen och därmed blir djupnedträngningen låg. I material med låg konduktivitet (σ) som exempelvis torr sand, grus och sandsten uppnås en större djupnedträngning och en djupare markanalys kan utföras. Radarpulsens penetrationsförmåga påverkas även av signalens frekvens (ω). Vanligtvis uppnås djupare nedträngning med låga frekvenser medan lägre nedträngningsdjup uppnås med höga frekvenser. (Jepsson 2017). Kraftig dämpning av EM-pulser i ett georadarprofil visas i figur 12.

$$\Delta = x \left(\frac{\sigma \mu \omega}{2} \right)^{1/2}$$

En EM-puls kan också förlora energi i samband med reflektion vid lagergränser. EM - pulser reflekteras vid lagergränser där det förekommer skillnader i elektrisk primitivitet (ϵ) och magnetisk permeabilitet (μ) (Reynolds 1997). Mängden energi som reflekteras ges med hjälp av en reflektionskoefficienten R där större skillnad beträffande μ och ϵ mellan två material i en lagergräns innebär att mer energi kommer att reflekteras. Storleken på R kan beräknas med ekvation 4.

$$R = \frac{\sqrt{\mu_2 \epsilon_2} - \sqrt{\mu_1 \epsilon_1}}{\sqrt{\mu_2 \epsilon_2} + \sqrt{\mu_1 \epsilon_1}}$$

Den mängd av EM-vågen som inte reflekteras

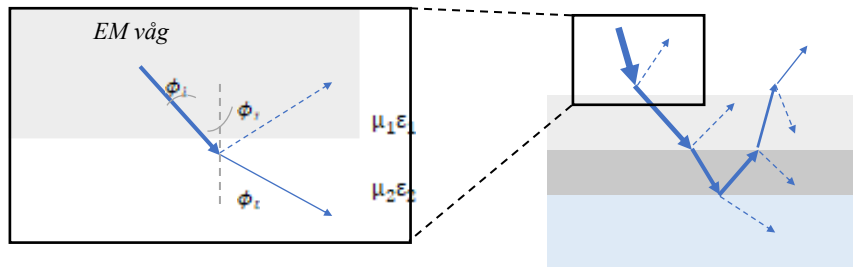


Figur 12: Figuren visar en georadarprofil där EM – pulsen har dämpats kraftigt på grund av förekomsten av ett högkonduktivt lerlager.

kan passera ytskiktet och transmitteras. Den transmitterade EM-pulsen kommer även att ha en

förändrad utfallsvinkel ϕ_t i förhållande till in-

fallsvinkeln ϕ_i . Den typ av energiförlust sker vid varje enskild gränssyta som pulsen passerar både under djupnedträngningen och på vägen upp mot markytan när den registreras av mottagaren. Spridning av EM-pulser kan även förekomma då pulsen stöter på sandkorn, gruskorn och stenar med samma storlek som radarvågens våglängd vilket förändrar vågornas propageringsriktning (Jeppson 2017).

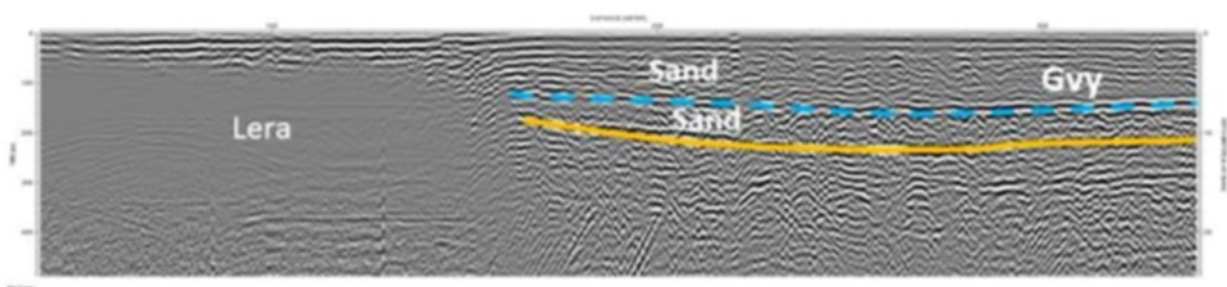


Figur 13. Reflektion och refraction av en EM-puls. Pulsen reflekteras och transmitteras vid varje lageryta som den passerar.

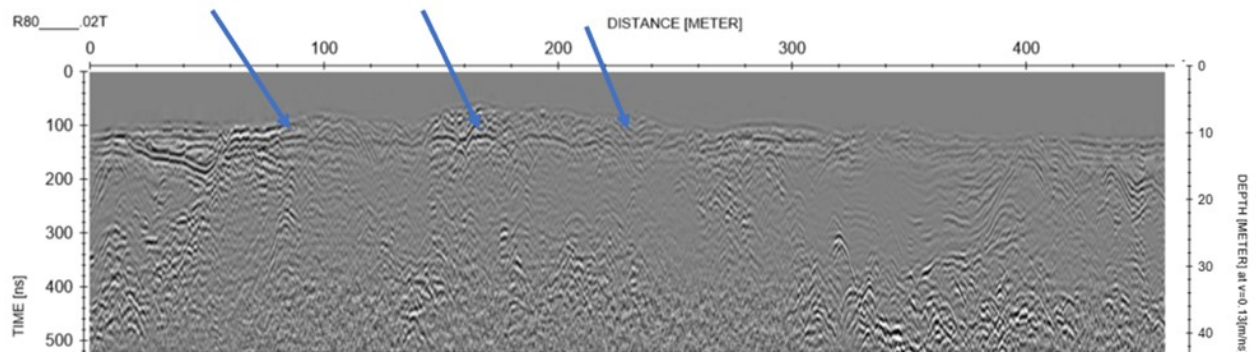
EM-vågor kan också interagera med varandra genom att förstärka varandra (positiv interferens) eller försvaga varandras amplitud (negativ interferens). Det i sin tur skapar ett diffraktionsmönster som registreras av mottagaren. Diffraktionsmönster är specifika för geologiskt material och kan därför tyda på jordartvariationer i marken med avseende på djup. Exempel på diffraktionsmönster från lera och sandlager visas i figur 14

Lagerövergångar med stora kontrast ger upphov till större reflektionskoefficienten R och därmed ett tydligare reflektionsmönster. Det i sin tur kan användas för att bestämma förekomst av en grundvattenyta (Jeppson 2017). Figur 16 visar en georadarprofil av torra respektive vattenmättade sandlager där reflektionsgränssytan (reflektorn) indikeras med blåa pilar. De uppmätta EM-signalerna vid en georadarmätning beror inte alltid på reflektioner från marken. I en georadarprofil kan det även förekomma oönskade signa-

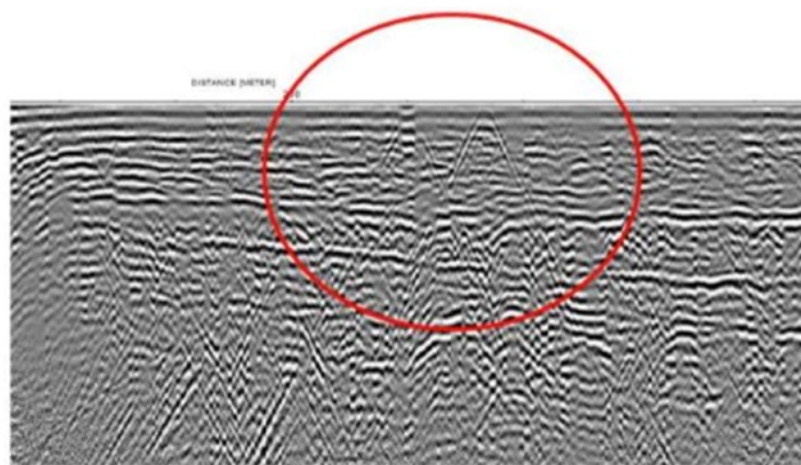
ler, så kallat brus, från byggnader och träd. De syns oftast som plana reflektioner med hög amplitud. Brus-signaler kan även genereras från andra EM-vågekällor som mobiltelefoner samt tv-och radioapparater. Undersökningsplatser i närheten av flygplatser, militärbaser eller högt trafikerade bilvägar kan ha en stor påverkan på georadarundersökningar. Brus kan även uppträda från nedgrävda föremål i marken eller diskontinuiteter som påverkar den uppmätta diffraktions signalen (Reynolds 1997). Exempel på diffraktionstörningar från nergrävda kablar visas i figur 16.



Figur 14 . Georadarprofil över ett lera lager och ett sandlager som delvis är vattenmättat. Stora skillnader i dämpning och därmed även nedträngningsdjup kan noteras mellan lera och sanden. Diffraktionsmönstren för de olika materialen ser olika ut, varje material kan ge upphov till ett delvis karaktäristiskt mönster.



Figur 15. Figuren visar en georadarprofil där en tydlig reflektion i en gränsyta (reflektor) kan synas. Reflektorns läge markeras av tre blåa pilar. Reflektorn har tolkats utgöras av en grundvattenyta i en isälvsavlagring bestående av sand och grus.



Figur 16. Exempel på diffraktionsmönster som i detta fallet beror på förekomsten av nedgrävda elkablar. Diffraktionsmönstren är markerade med en röd cirkel. Figuren är modifierad efter Jepsson 2017.

6 Material

Sammanlagt har 34 georadarprofiler (R74 - R107) över grundvattenmagasinet Verveln-Gullringen i Kalmar län erhållits från Sveriges geologiska undersökning (SGU). Profilerna erhöles som bearbetad rådata som har sammanställts till höjdkorrigerade radargram, se figur 17. Radargrammen kommer från georadarmätningar som utfördes i samband med SGU:s grundvattenkartering i Södra Östersjöns vattendistrikt (projekt-id:83-015). Mätningarna utfördes år 2015 av Johan Söderman och Mattias Gustafsson från SGU. Vid mätningarna användes georadarsystemet SIR 3000 från tillverkaren GSSI tillsammans med en Subecco 40 MHz antenn. Georadarsystemet var monterat på en släpanordning som drogs bakom en personbil (fig. 18).

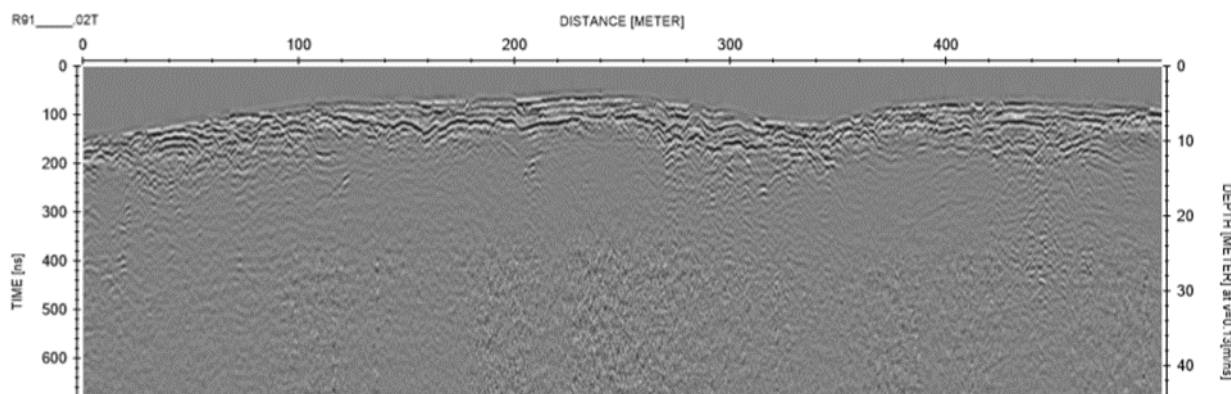
Brunnsdata från undersökningsområdet hämtades från SGU:s brunnarkiv där information om brunnar från hela landet finns lagrad. Geologiska jordarts- och berggrundskartor samt en översiktlig jorddjupsmodell hämtades från SGU:s kartvisartjänst samt från kartgeneratorm. Geodata för ArcGIS i form av jordartskartan 1:1 miljon, berggrundskartan 1:150 000 – 250 000, vägkartan, ortofoto raster och höjddata 2m hämtades från SLU:s (Sveriges lantbruksuniversitet) fria nedladdningstjänst GET.

7 Metod

Det geografiska informationssystemet ArcGIS från ESRI användes för att skapa en översiktskarta över undersökningsområdet. Översiktskartan byggdes upp av flera lager med geodata bestående av en jordartskarta, en berggrundskarta, ett ortofoto, en höjddmodell, brunnnsdata och samtliga georadarprofiler. I ArcGIS användes även olika typer av verktyg för att kunna utföra mätningar och analyser av ovanstående geodata, verktyg som användes i GIS: *Measure*, för mätning av sträckor och areor användes för att korrelera övergångar i reflektioner på radarprofilerna med övergångar i jordarter enligt jordartskartan. *Query by attribute*, användes för att visa specifik brunnsinformation gällande attribut som jorddjup och typ av brunn.

7.1 Tolkning av georadarprofiler

Tolkningsarbetet inleddes med att välja ut georadarprofiler som ansågs vara belägna på isälvssediment för att bedöma isälvsavlagringens mäktighet, detta i enlighet med undersökningens syfte och mål. Georadarprofiler belägna på områden som med hjälp av jordartskarta bedömts bestå av isälvssediment prioriterades. Bedömningen gjordes med hjälp av ArcGIS där radarprofilernas geografiska läge visades tillsammans med en underliggande jordartskarta. Av de sammanlagt 34



Figur 17. En av sammanlagt 34 höjdkorrigerade radargram över grundvattenmagasinet Verveln – Gullringen som erhållits från SGU.



Fig. 18. Fältmätningssystemet som användes av SGU för att utföra georadarundersökningarna över grundvattenmagasinet Verveln – Gullringen. I bilden syns en personbil med en släpanordning där georadarsystemet SIR 3000 från GSSI var monterat. Bildkälla: Mattias Gustafsson SGU

georadarprofilerna som erhållits från SGU valdes 17 profiler ut för tolkning, profilerna fördes in i illustrationsprogrammet Adobe Illustrator. Radarprofilernas reflektionsmönster undersöktes och förekomsten av tydliga reflektioner samt deras läge i djupled noterades och markerades i illustratör. Som stöd vid tolkningsarbetet, framförallt vid tolkningen av otydliga reflektorer användes georadarprogrammet ReflexW2D av Sandmeir. I programmet användes olika verktyg för att förstärka signalen hos otydliga reflektioner.

Dricksvatten- och energibrunnar belägna i isälvsavlagringen användes för att få en uppfattning om lagerförhållanden, grundvattenytans läge och jordmäktigheten i avlagringen. Brunnar som var belägna direkt på profilerna eller i närheten av profilerna (0-200m) korrelerades med de tolkade reflektionernas läge. Tolkningsarbetet inleddes efter att reflektionernas djup och förväntade geologiska uppbyggnad var klarlagd. I tolkningsarbetet besvarades frågor som: Är det en lagergräns eller en störning som har givit upphov till reflektionen? Vad för typ av geologisk lagergräns eller materialövergång har givit upphov till reflektionen? Frågorna besvarades med hjälp av den tillgängliga brunnnsdata och jordartskartan. Tolkningarna illustrerades sedan i Adobe Illustrator där eventuella lagergränser och förekomsten av grundvattenytor ritades ut. Tolkningsresultatet redovisades sedan i form av illustrerade georadarprofiler eller geologiska genomskärningar, se figur 20 och bilaga 2,3,4,5 & 6.

7.2 Mäktighetsmodell

En mäktighetsmodell över isälvsedimenten som utgör grundvattenmagasinet Verveln – Gullringen (fig. 22) skapades av de tolkade georadarprofilerna från brunnnsinformation i området. Skapandet av mäktighetsmodellen inleddes med tolkning av jorddjupet för varje enskild radarprofil. För varje profil utfördes minst fem mätningar och avståndet mellan varje mätpunkt var 50 eller 100m beroende på profilens längd. Från de erhållna mätvärdena beräknades ett medelvärde för isälvsedimentens mäktighet för varje profil, beräknade medelvärden redovisas i bifogad tabell 2. När medelmäktighetsvärdet för varje profil bestämts så delades mäktigheterna in i följande intervall: <4m, 4-8m, 8-12m, 12-16m, 16-20m. Områden i avlagringen som visade ett jorddjup inom ett av ovannämnda mäktighetsintervall avgränsades och tilldelades en färgkod motsvarande ett av intervallen. Här följer ett exempel på hur indelningen utfördes: I profil R79 (bilaga 2) beräknades medelvärdet till 4,5m det innebär att medelvärdet är >4m men <8m därför delades området in i mäktighetsintervallet 4-8m. Det

fanns även områden som inte hade georadardata eller brunnnsdata som kunde användas för att få några exakta mäktighetsvärden. I dessa områden användes medelvärden från omkringliggande områden för att uppskatta jordmäktigheten. Vid uppskattningen togs även hänsyn till hur geologin förväntas att påverka jorddjupet. Resultatet av mäktighetskartläggningen presenteras i mäktighetskartan över isälvsavlagringen i figur 22.

7.3 Area och volymeräkningar

I samband med skapandet av mäktighetsmodellen delades isälvsavlagringen in i områden med olika färgkodade mäktighetsintervall, se mäktighetsmodellen i figur 22. Sammanlagt kunde 20 områden delas in utifrån deras mäktighetsintervall. Dessa tilldelades heldragna kantlinjer för att särskilja de från områden utan någon data som kunde bekräfta deras mäktighet. Arean av samtliga 20 områden beräknades med hjälp av mätverktyget *measure area* i ArcGIS. Grundvattenmagasinet jordvolym beräknades med hjälp av areorna. För att kunna beräkna jordvolmen valdes medelvärdet av mäktighetsintervallet ut för varje område. Exempel på hur det utfördes: I ett område med mäktighetsintervallet 8 – 12m användes medelvärdet 10m vid beräkningen av jordvolymen. Jordvolymen beräknades med följande ekvation:

$$\text{Area [m}^2\text{]} \times \text{Medeldjup [m]} = \text{Jordvolym [m}^3\text{]}$$

Den beräknade jordvolymen användes för att bestämma grundvattenmagasinet vattenvolym. Detta gjordes först och främst genom att bestämma andelen hålrum tillgängliga för vatten i avlagringen, detta gjordes med följande ekvation:

$$\text{Jordvolym} \times 0.15 = \text{Totala vatten kapaciteten i magasinet [m}^3\text{]}$$

Den vattenbärande jordvolymen multiplicerades med ett antaget porositetvärde på 15% för isälvsedimenten. Porositetsvärdet på 15% används av SGU för liknande volymeräkningar i samband med kartläggningsarbetet av grundvattenmagasin i Sverige (Eveborn et al. 2017). Utifrån beräkningen erhöles den totala jordvolymen som kan innehålla vatten. Grundvattenytans läge under markytan tolkades för varje enskild georadarprofil. För varje profil utfördes minst fem mätningar och avståndet mellan varje mätpunkt var 50 eller 100m beroende på profilens storlek. Utifrån grundvattenytans medelläge beräknades den procentuella andelen av den vattenmättade jordvolymen. Den erhållna procentandelen multiplicerades med den totala jordvolymen som kan innehålla vatten för att få fram vattenvolymen i

magasinet som var närvarande under georadarmätningarna.

8 Resultat & Diskussion

Georadarmätningar i Verveln – Gullringen utfördes av SGU som en del av kartläggningsarbetet av grundvattenmagasin i Södra Östersjöns vattendistrikt. Georadarprofilernas utsträckning och geografiska läge är bifogade i bilaga 1. Samtliga georadarprofiler tolkades med syfte att bestämma grundvattenmagasinets jordmäktighet och volym. Mark- och berggrundstopografin tolkades för att bestämma jorddjupet samt jordmedelmäktighet. Isälvsedimentens mäktighet och utbredning markerades som ett grönfärgat område medan morän markerades som ett blåfärgat område och berggrunden markerades som ett rödfärgat område. Isälvsedimentens geografiska utbredning bestämdes och användes tillsammans med medelmäktighetsvärden för att skapa en mäktighetskarta över isälvsavlagringen Verveln – Gullringen. Mäktighetskartan användes sedan för att ta fram jordvolymen i grundvattenmagasinet. Förekomsten av en grundvattenyta markerades med en blå streckad linje i georadarprofilerna. En tolkad georadarprofil, R80 är bifogad i figur 20 medan resterande georadarprofiler med och utan tolkning är bifogade i bilaga 2, 3, 4, 5 & 6. All data jämfördes med brunnar som fanns i området. Grundvattenytans läge tillsammans med jordvolymen användes sedan för att bestämma vattenmängden i grundvattenmagasinet Verveln – Gullringen.

8.1 Jorddjup och isälvsedimentens mäktighet

Isälvsedimentens jorddjup i Verveln – Gullringen varierade mellan 1m och 20m enligt georadarprofilerna. Jorddjupet var som högst i radarprofil R78 (fig. 21) samt R80 där maxdjupet uppgick till 17 m respektive

20 m. De lägsta jorddjupen upptäcktes i profil R88 (fig. 21) samt i R98 där jorddjup så låga som 2 m noterades. De vanligaste jorddjupen var däremot omkring 8 – 12m. Fyra brunnar belägna längs med eller i närheten (0 – 200m) av georadarprofilerna R82, R83 och R98 visade ett överensstämmande jorddjup med de tolkade jorddjupen i profilerna. I radarprofil R82 bekräftades tolkningen av jorddjupet 12m vid sträckan 500 – 550m av brunn FID43. I profil R83 bekräftades tolkningen av jorddjupet 9m vid sträckan 600-700m av brunn FID75 och i samma profil bekräftades även jorddjupet 11m vid sträckan 1200 – 1300m av brunn FID41. I profil 98 bekräftades tolkningen av jorddjupet 4m vid 900 – 950m av brunn FID78.

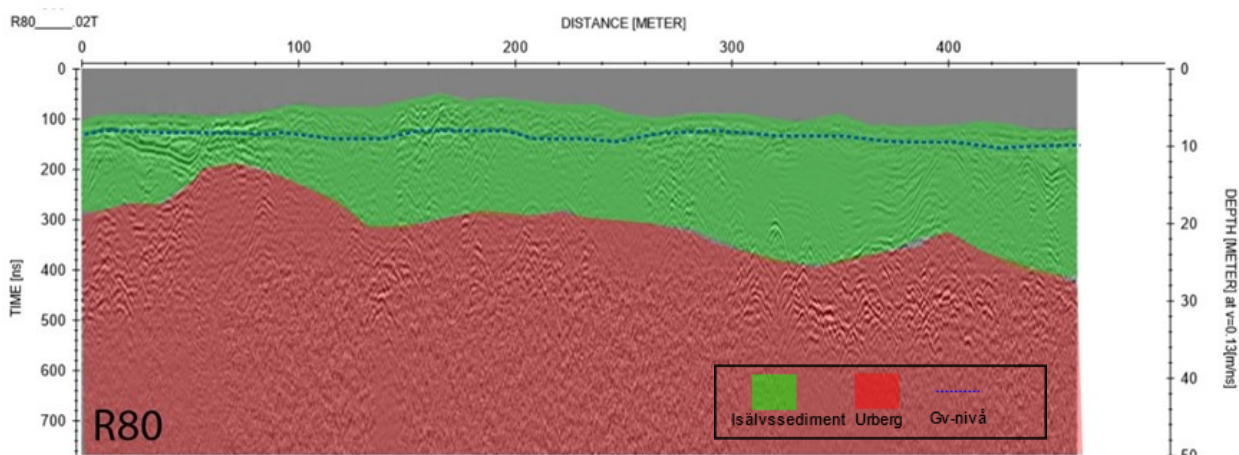
Isälvsedimentens medelmäktighet i varje enskild georadarprofil bestämdes i syfte att skapa en mäktighetsmodell över grundvattenmagasinet. Minst 5 jorddjupsmätningar med ett mätintervall på 50 eller 100m beroende på profilens längdutsträckning utfördes. Mätvärden från de uppmätta jorddjupen användes sedan för att beräkna ett medelvärde av isälvsedimentens mäktighet. Beräknade medelmäktigheter för de sammanlagt 17 profilerna är bifogade i tabell 2.

8.2 Jordmäktighetsmodell över Verveln—Gullringen

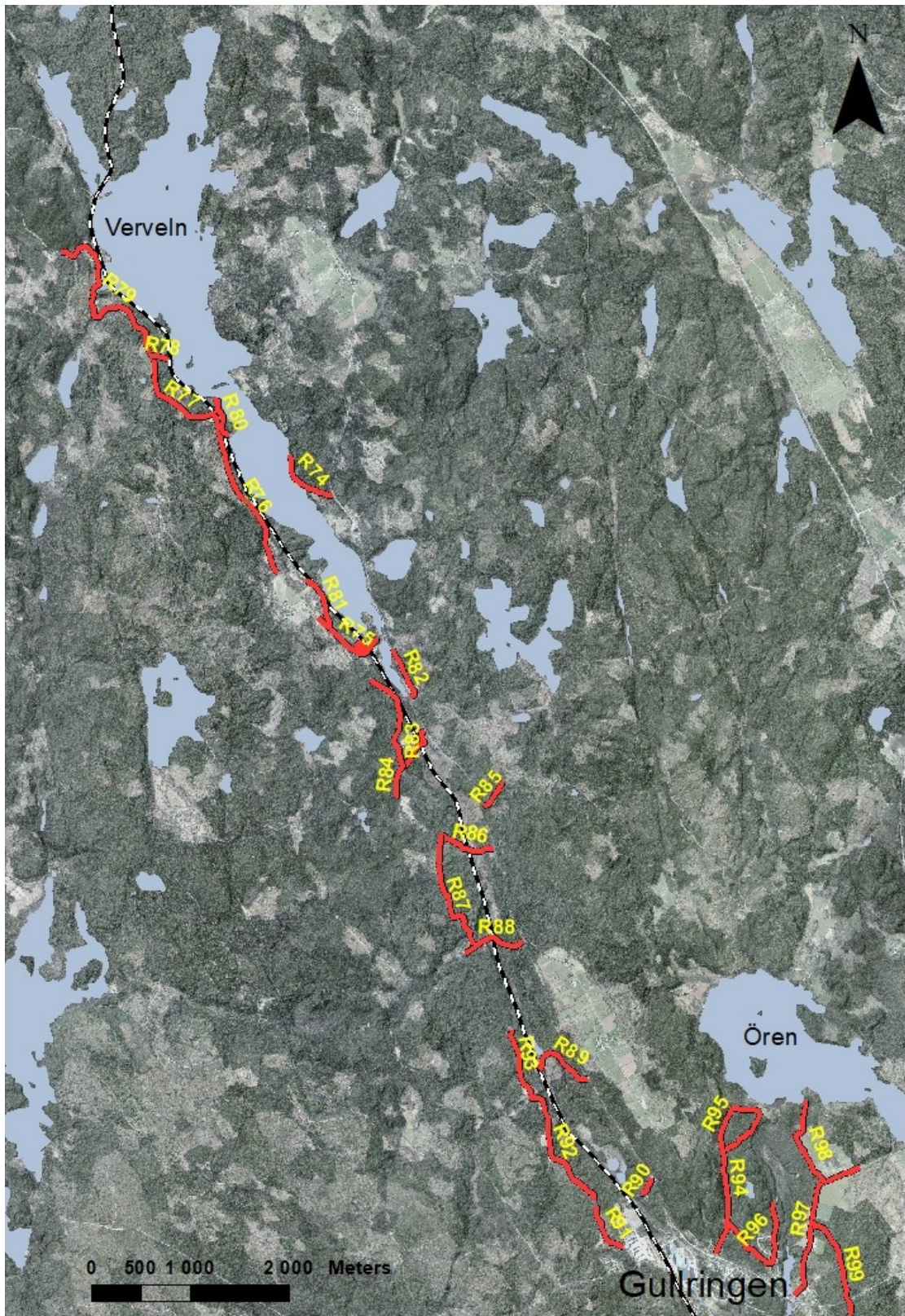
Medelvärden över isälvsedimentens mäktighet användes tillsammans med georadarprofilernas geografiska utsträckning för att skapa en mäktighetsmodell över Verveln – Gullringen. Georadarprofilernas utsträckning och geografiska läge visas i figur 20. Medelmäktigheterna varierar mellan 2,2m –15,6m i avlagringen, se tabell 2 där alla medelvärden är bifogade. Medelmäktigheterna delades sedan in i följande

8.4 Magasinvolym

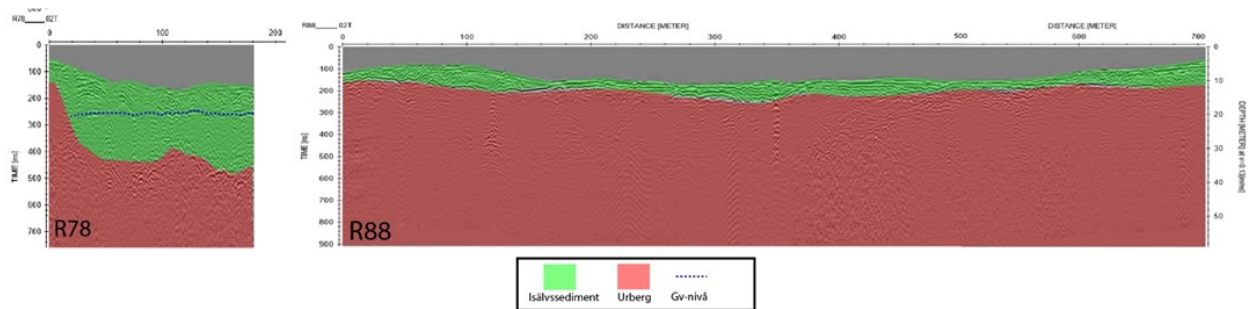
Grundvattenmagasinets totala area beräknades till 11 649 490 m² (11.65 km²). Resultatet av grundvattenmagasinets area stämmer bra överens med information från databasen *Vatteninformationssystem Sverige – VISS* där magasinets area anges vara 11km². I databa-



Figur 19. Figuren visar georadarprofil R80 som är en av sammanlagt 17 tolkade radarprofiler över grundvattenmagasinet Verveln –Gullringen. Isälvsedimentens mäktighet och utbredning har markerats som ett grönfärgat område och berggrunden som ett rödfärgat område i profilen. Grundvattenytans läge har även markerats som en streckad blå linje. Den tolkade radarprofilen användes som underlag för att för att bestämma isälvsedimentens mäktighet för platsen.



Figur 20. Karta över Verveln - Gullringen där mätprofiler från georadarmätningarna som SGU utförde över områden är markerade med röda linjer samt ett eget identifieringsnummer. Sammanlagt visas 26 georadarprofiler i figuren därav majoriteten har en utsträckning i NV-SO riktning.



Figur 21. Figuren visar två tolkade georadarprofiler: Profil R78 och profil R88. I figur R78 har låga jorddjup som 2m noterats, detta är bland de lägsta i avlagringen. I profil R88 har däremot stora jorddjup på 17m noterats vilket är bland de största djupen i avlagringen.

Tabell 3. Tabellen visar medelvärden av isälvs sedimentens mäktighet. Dessa har beräknats utifrån minst 5 jorddjupsmätningar i varje profil. Medelmäktigheterna användes huvudsakligen för att skapa mäktighetsmodellen över Verveln – Gullringen.

R74	R75	R77	R78	R79	R80	R81	R82	R83
6,3m	8m	2,2m	15,8m	4,5m	13,6m	7,8m	11m	8m
R84	R86	R87	R88	R89	R90	R98	R99	
7,4m	5,5m	10,7m	4,3m	6,1m	10,6m	4,3m	5,7mm	

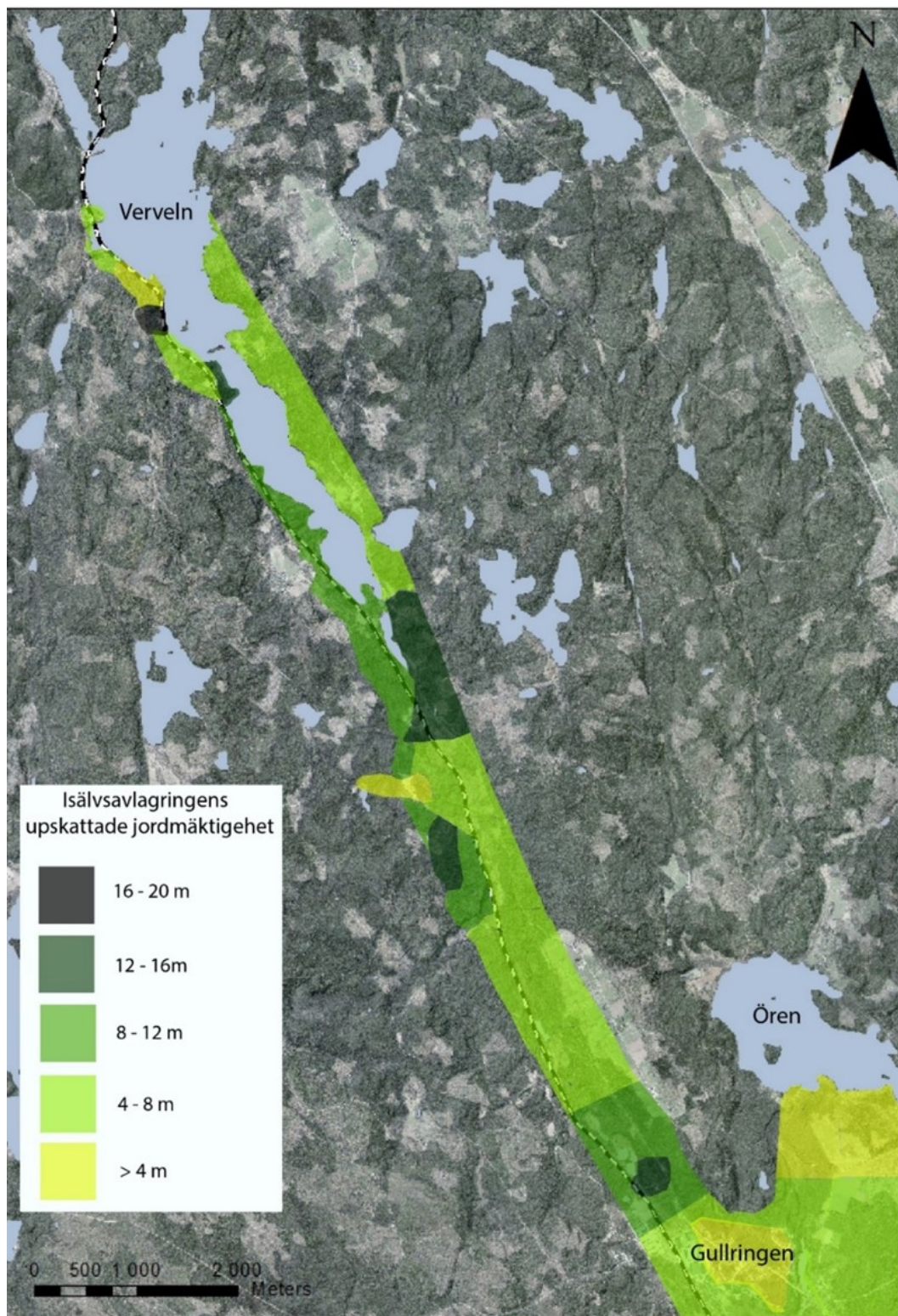
mäktighetsintervall: <4m, 4-8m, 8-12m, 12-16m, 16-20m. Områden i avlagringen som uppvisade ett jorddjup inom ett av ovannämnda intervall avgränsades och tilldelades en färgkod som korresponderade till ett av intervallen. Resultatet av indelningen och därmed mäktighetskartläggningen presenteras i en mäktighetskarta över isälvsavlagringen i figur 22.

8.3 Resultat jordmäktighetsmodell

Avlagringen domineras av jordmäktigheter inom intervallen 4-8m och 8-12m, men områden med lägre mäktigheter förekommer även. Områden med lägst mäktigheter, <4m, förekommer framförallt kring bebyggt område vid tätorten Gullringen (fig. 22). Störst sammanhängande område med relativt stora mäktigheter inom intervallet 12-16m förekommer i mitten av avlagringen, området syns i södra delen av sjön Verveln, se figur 22. Mäktigheter inom intervallet 12-16m förekommer även på andra platser i avlagringen men inte i lika stor utsträckning, se figur 22. Det förekommer även ett mindre område i avlagringens nordliga delar med mäktigheter inom intervallet 16-20 m. Avlagringens centrala delar är av störst betydelse för dricksvattenförsörjningen i området. Dricksvattenbrunnar bör placeras i

dessa områden där mäktigheten är som störst eftersom att vattenkapaciteten förväntas vara störst där. Föroreningsrisken, särskilt från ytliga föroreningskällor bör även vara lägre i dessa områden där jordmäktigheten är som störst.

Felkällor förekommer troligtvis även om indata som har använts för att skapa mäktighetsmodellen kan anses vara av relativt hög kvalitet. Felkällor kan ha uppstått i samband med tolkningar av georadarprofiler samt i samband med olika beräkningar. Inhämtad data från bland annat jordartskartor och brunnsarkiv kan även vara delvis felaktiga eftersom att den typen av data bygger på tolkningar. Information från brunnar i kombination med data från georadarprofiler kan trots detta anses vara tillräckligt pålitlig för att användas som underlag vid skapandet av en mäktighetsmodell. Det finns utrymme för förbättring Modellen kan förbättras genom att utföra fler georadarmätningar som genomskär avlagringen horisontellt för att få mer indata som representerar avlagringens verkliga utbredning.



Figur 22. Mäktighetsmodell över Verveln – Gullringen. Mäktigheterna har delats in i 5 olika färgkodade intervall: <4m, 4-8m, 8-12m, 12-16m, 16-20m. Modellen har skapats utifrån mäktighetsvärden som har beräknats från tolkade georadarprofiler.

sen framkommer att information om grundvattenförekomstens utbredning kommer från ett urval av hydrogeologiska data från SGU (VISS 2019). Skillnaderna mellan arean som VISS anger och arean som har beräknats i arbetet är väldigt liten men det rör sig om ett område i storleksordningen 650 tusen m². Skillnaderna kan bero på att magasinets utbredning har avgränsats på olika sätt men skillnaderna kan även bero på att beräkningar har gjorts mer detaljerat i arbetet. Arean för områden har beräknats enskilt och sedan summerats i arbetet, det framkommer inte riktigt hur värdet i VISS har beräknats men det framkommer att ”magasinets avgränsning är översiktlig” (VISS 2019). Magasinets totala jordvolym beräknades till 79 miljoner m³. Magasinets volym anges inte i VISS eller en annan källa därför har inte resultatet kunnat jämföras med andra informationskällor. Volymen är framförallt viktigt vid beräkningar av vattenmängden i magasinet. Grundvattenmagasinets totala grundvattenvolym med förutsättningarna att isälvssedimenten har en effektiv porositet på 15% beräknades till 12 miljoner m³. En effektiv porositet på 15 % för isälvsvavlagringar kan anses vara för låg då värden på 30 – 50% porositet figurerar i litteraturen. SGU använder sig av ett porositetvärde på 15 % vid liknande beräkningar på isälvsvavlagringar i Sverige. Tanken är att det är bättre att underskatta grundvattenvolymen än att överskatta den och därför har samma värde använts i beräkningar som har gjorts i arbetet.

8.5 Grundvattenvolym - Enligt tolkad grundvattennivå

Grundvattenmagasinets grundvattenvolym med förutsättningarna att isälvssedimenten har en effektiv porositet på 15% beräknades till 3,4 miljoner m³. I beräkningarna har medelvärden för grundvattennivån under markytan använts. Medelvärdet 3,4m har beräknats utifrån tolkade georadarprofiler hur de har tolkats och beräknats beskrivs i rapportens metodavsnitt. Den beräknade grundvattenvolymen gäller enbart för grundvattennivåer som tolkats utifrån radarprofiler från mätningar som utfördes år 2015. Den beräknade volymen är inte användbar för att dra slutsatser om volymen i dagsläget eller vid andra tidpunkter än då mätningarna utfördes. Den beräknade grundvattenvolymen kan dock vara användbar vid jämförelser med volymeräkningar från andra tillfällen.

8.6 Grundvattenvolym - Enligt grundvattennivå från mätstation

I detta fallet har beräkningar gjorts med medelvärden erhållna från en mätstation i Norra Kvills nationalpark omkring 10km från magasinet. Grundvattenmagasinets totala grundvattenvolym med förutsättningarna att isälvssedimenten har en effektiv porositet på 15% beräknades till 6,4 miljoner m³. Medelvärdet för grundvattennivå i den aktiva mätstationen *Vimmerby_102* har legat på -2.62 m sedan 1985. Den beräknade grundvattenvolymen av värden som tagits från mät-

stationen i N.Kvills nationalpark ger inget direkt svar på volymen i magasinet. Anledningen till att värden från mätstationen överhuvudtaget har använts är att det kan ge en ungefärlig uppskattning av volymen utan att faktiskt behöva utföra mätningar i Verveln – Gullringen där det för närvarande inte existerar en mätstation. Detta är möjligt då mätstationen är belägen i en liknande avlagring som är belägen relativt nära magasinet.

9 Slutsatser

Georadarundersökningar är tidseffektiva och mycket användbara vid undersökningar av grundvattenmagasin i isälvsvavlagringar likt Verveln- Gullringen. Georadarprofiler tillsammans med annan information beträffande geologin och hydrologin i ett område kan med fördel användas för att undersöka sedimentmäktigheter och grundvattennivåer i en avlagring. Underlaget kan användas för att skapa utförliga mäktighetsmodeller samt för att undersöka underliggande berggrundens morfologi.

Dricksvattenbrunnar kan med fördel placeras i områden där isälvssedimenten är som mäktigast eftersom att uttagskapaciteten för grundvatten med stor sannolikhet är som störst där. Placeringen har även betydelse för vattenkvaliteten, föroreningsrisken från ytliga föroreningskällor minskar när sedimentmäktigheten är större. Med hjälp av mäktighetsmodellen som har skapats i detta arbete har ett område i Verveln - Gullringens centrala delar identifierats som gynnsamt för vattenuttag. Dricksvattenbrunnar rekommenderas att placeras i detta område där isälvssedimenten är mäktigast.

Mäktighetsmodellen kan även användas som underlag vid framtida undersökningar av grundvattenmagasinet. Modellen kan bland annat användas vid framtida beräkningar av magasinets volymen och vattenmängden där olika grundvattennivåer kan användas som indata.

10 Tack

Först och främst vill jag tacka mina handledare Mikael Erlström och Mattias Gustafsson för möjligheten att få vara delaktig i deras viktiga arbete med att säkra Sveriges grundvattentillgångar. Jag vill även tacka Virginie Leroux på SGU som tog sig tiden att vägleda och hjälpa mig med tolkningen av georadarprofilerna. Vidare vill jag även tacka alla från Lunds geologiska institution samt alla från SGU som på något vis har varit inblandade i mitt examensarbete. Slutligen vill jag tacka min kära sambo Nikol Labecka, inget vore möjligt utan din närvaro och ditt stöd.

11 Referenser

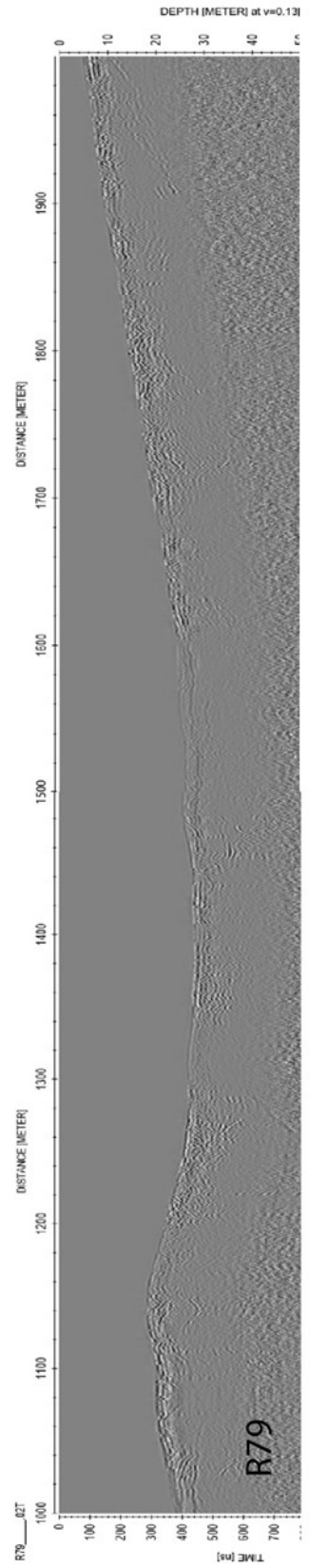
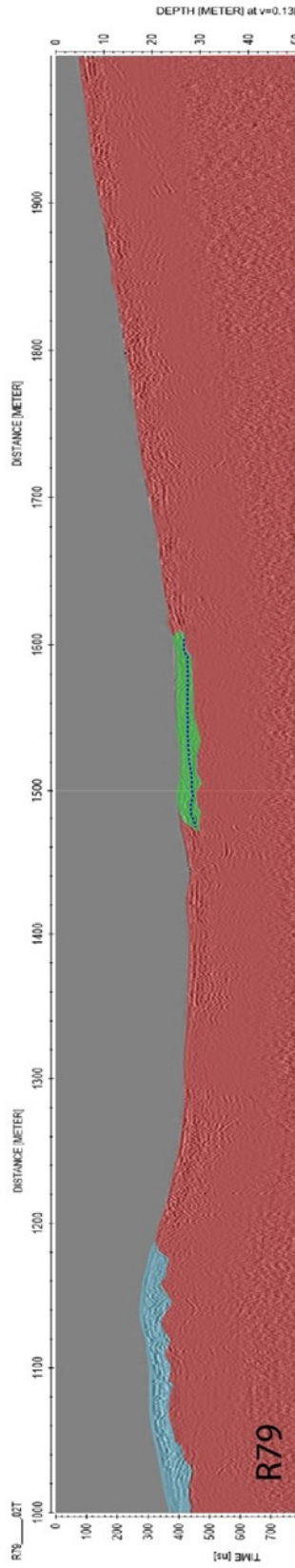
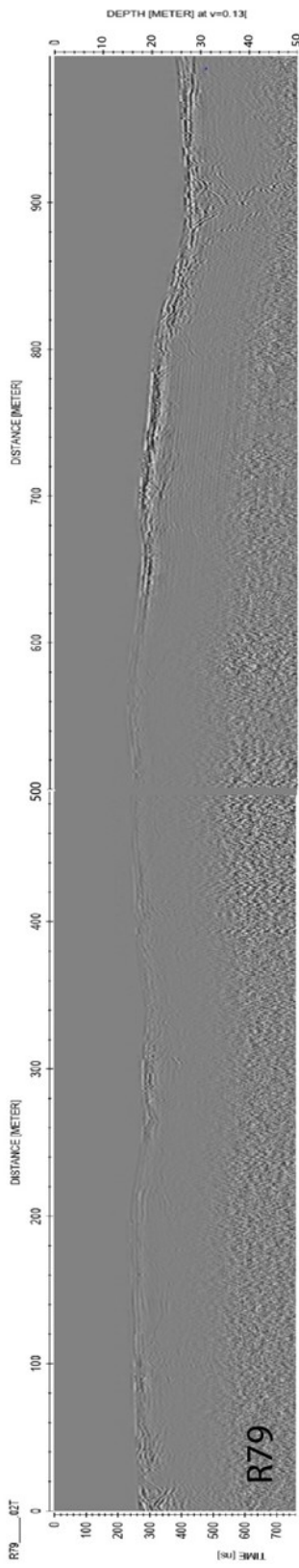
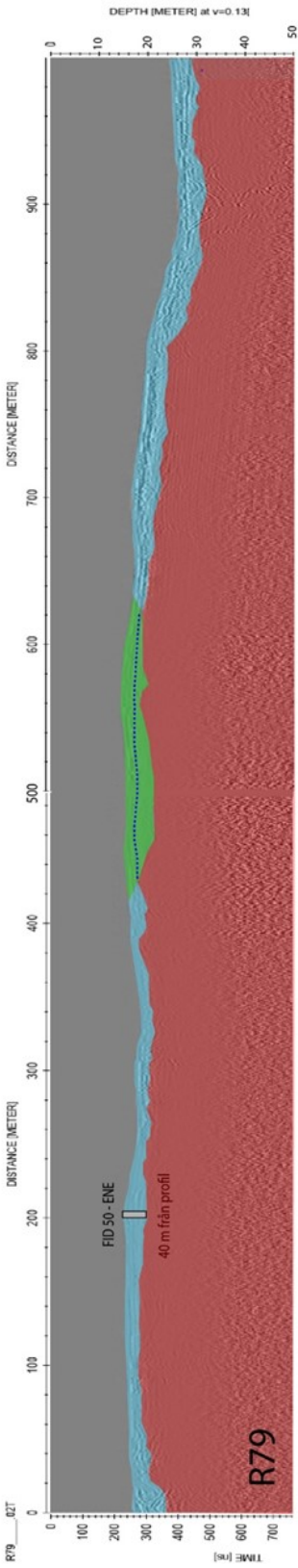
- Andréasson, P.-G., 2015: *Geobiosfären: en introduktion*. Studentlitteratur. 700 sid.
- Antal, I., Bergman, T., Gierup, J., Rudmark, L., Thunholm, B., Wahlgren, C-H., Stephens, M., Johansson, R., 1998: Översiktsstudie av Kalmar län Geologiska förutsättningar. SKB Rapport R-98-24. 1 – 55.
- Blad, L., Maxe, L., Källgården, J., 2009: Vattenförsörjningsplan – Identifiering av vattenresurser viktiga för dricksvattenförsörjning. *SGU-rapport 2009:24*. 1–28.
- Bogren, J., Gustavsson, T., Loman, G., 2008: *Klimat och Väder*. Studentlitteratur. 296 sid
- Dojack, L., 2012: *Ground Penetrating Radar Theory, Data Collection, Processing, and Interpretation: A Guide for Archaeologists*. 1-94.
- Eveborn, D., Vikberg, Thunholm, B., Hjerne, C-E., & Gustafsson, M., 2017: *Grundvattenbildning och grundvattentillgångar i Sverige. Sveriges geologiska undersökning – SGU, 1–57*.
- Fetter, C.-W., 2001: *Applied Hydrogeology 4th Edition*. Prentice Hall Regents. 598 sid
- Gunnar, W., Bergström, U., Bruun, Å., Claeson, D., Jelinek, C., Juhojuntti, N., Kero, L., Lundquist, L., Stephens, M., Sukotjo, S., Wikman, H., 2005: *Beskrivning till regional berggrundskarta över Kalmar län*. SGU Ba66. 1–54.
- Hagström, L., 2013: Regional vattenförsörjningsplan för Kalmar län 2013. Länsstyrelsen Kalmar, 1–176.
- Jepsson, H., 2016: *Elektromagnetiska metoder. Kompendium i Geofysisk undersökningsmetodik*, GEOC04. Geologiska institutionen, Lunds universitet. 134 sid.
- Länsstyrelsen., 1997: *Natur I Östra Småland*. Länsstyrelsen i Kalmar län. 382 sid
- Länsstyrelsen., 1984: Kalmar läns författningssamling. 08FS 1984:53. 1–3.
- Mekonnen, M., Hoekstra, A., 2016: Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances* 2. 1-7.
- SGU – Sveriges geologiska undersökning., 2009: *Utredning på uppdrag av regeringen: Sveriges grundvattentillgångar – Betydelse för näringsutveckling och tillväxt. Sveriges Geologiska undersökning-SGU*, 145.
- Persson, K., Johansson, H., Lokrantz, H., 2009: *Beskrivning till jordartskartan 7F Tranås SO. Sveriges geologiska undersökning*, 1–16.
- Pousette, J., Müllern, C-F., Engqvist, P., Knutsson, G., 1981a: *Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Kalmar län*. SGU serie Ah nr1. 1 – 113.

- Pousette, J., Müllern, C-F., Engqvist, P., Knutsson, G., 1981b: *Hydrogeologisk karta över Kalmar län 1:250 000*. SGU serie Ah nr1. 1.
- Reynolds, J.-M., 1997: *An introduction to applied and environmental geophysics*. Wiley-Blackwell. 799 sid.

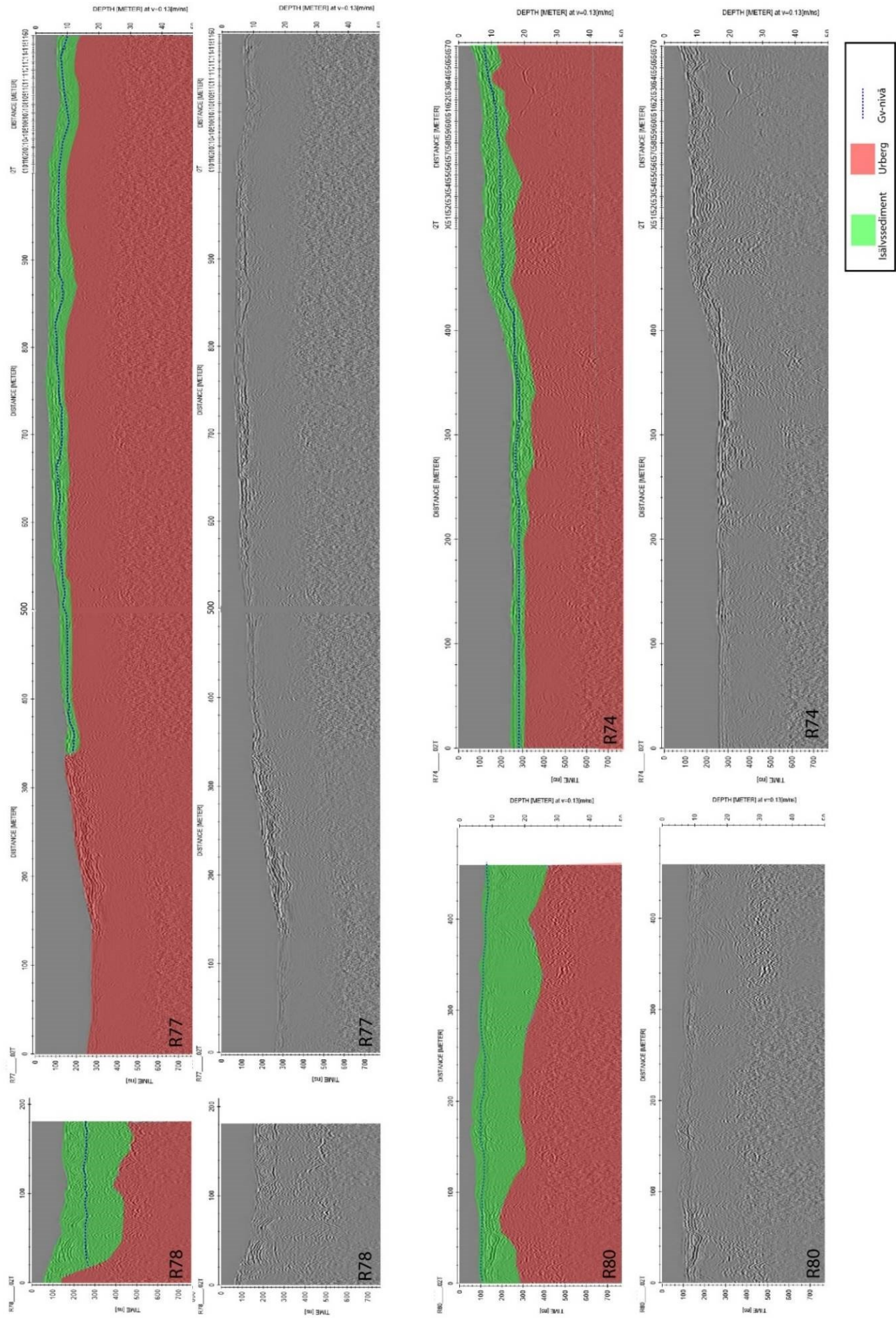
Internet referenser

- Diffraktion, *Nationalencyklopedin* diffraktion. <http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/diffraktion> (hämtad 2019-04-10)
- Elektriskt Permittivitet, *Nationalencyklopedin* permittivitet. <http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/permittivitet> (hämtad 2019-05-23)
- Folkmängd i riket, län och kommuner 31 mars 2018 och befolkningsförändringar 1 januari–31 mars 2018, *SCB – Statistiska centralbyrån* <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/befolkning/befolkningens-sammansattning/befolkningsstatistik/pong/tabell-och-diagram/kvartals--och-halvarsstatistik--kommun-lan-och-riket/kvartal-1-2018/> (hämtad 2019 – 05–05)
- Gullringen, *Nationalencyklopedin* Gullringen. <http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/gullringen> (hämtad 2019-05-23)
- Kartgeneratören berggrund, SGU http://apps.sgu.se/kartgenerator/maporder_sv.html
- Kartgeneratören jordarter, SGU http://apps.sgu.se/kartgenerator/maporder_sv.html
- Kartgeneratören grundvattennivåer, SGU http://apps.sgu.se/kartgenerator/maporder_sv.html
- Produktion av dricksvatten, *Svenskt Vatten* <https://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/dricksvattenfakta/produktion-av-dricksvatten/> (Hämtad 2019-05-23)
- Sveriges geologiska undersökning, *Nationalencyklopedin* (<http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/sveriges-geologiska-undersokning>) (hämtad 2019-05-10)
- Verveln – Gullringen, *VISS – Vatteninformationssystem Sverige* <https://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterMSCD=WA10368641> (hämtad 2019-03-28)

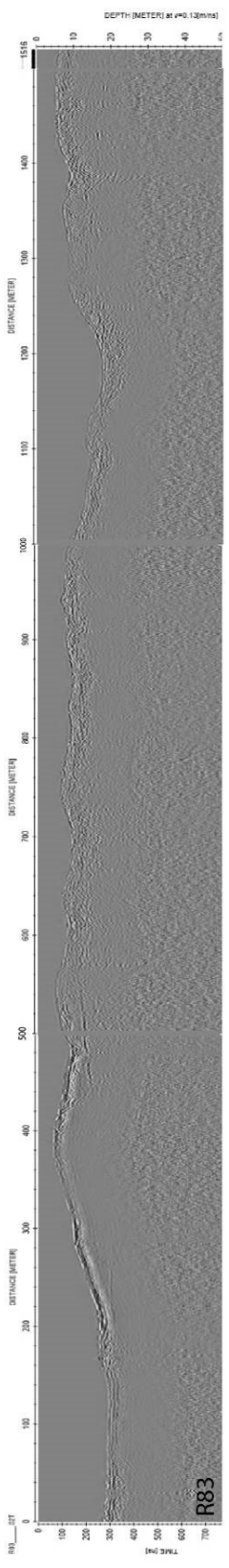
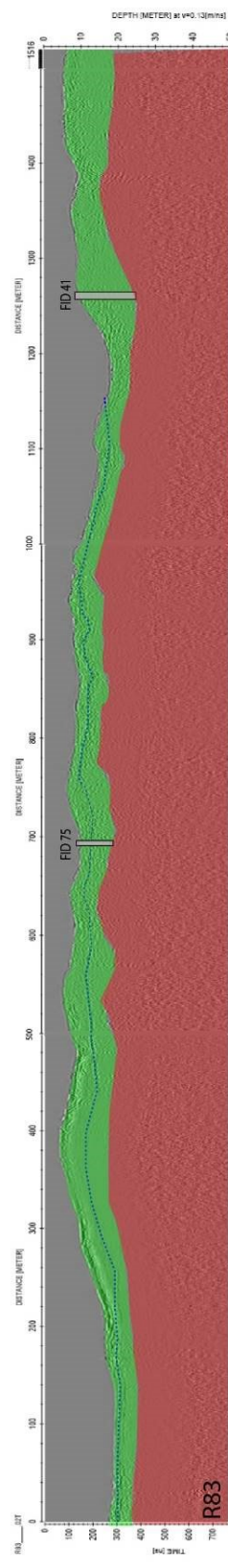
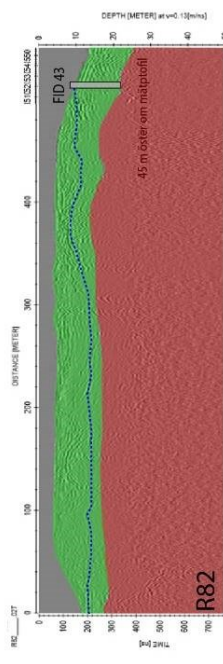
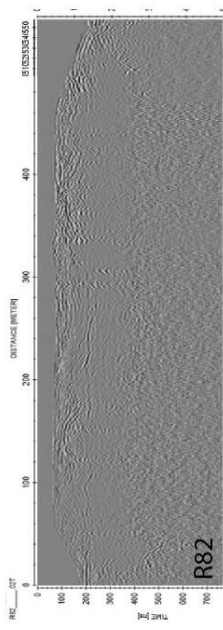
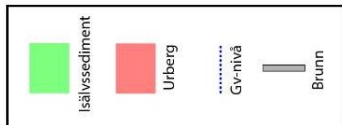
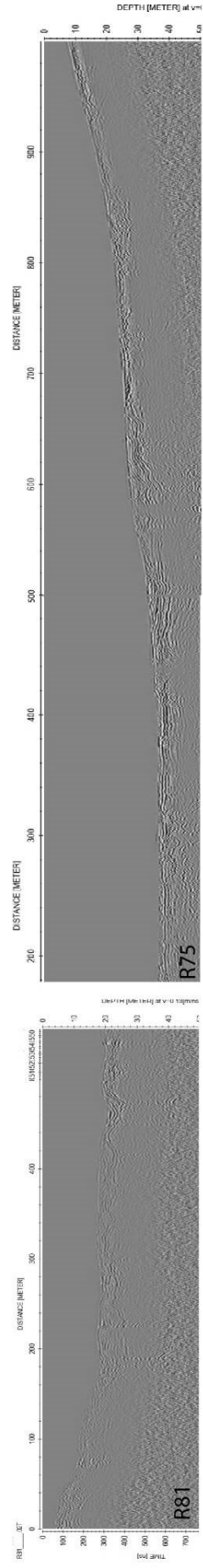
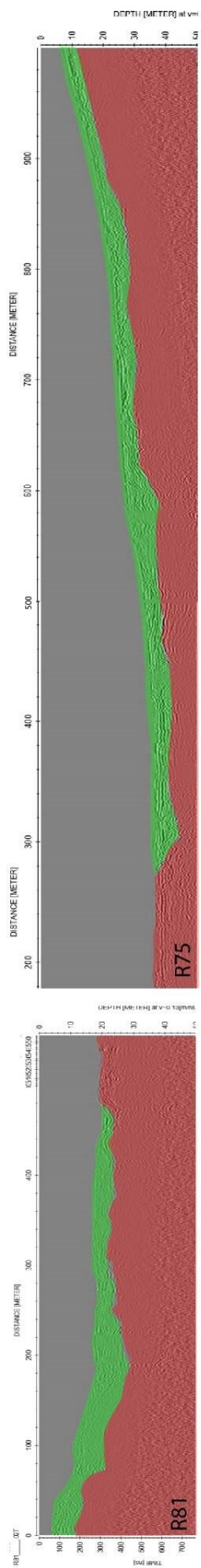
Bilaga 1



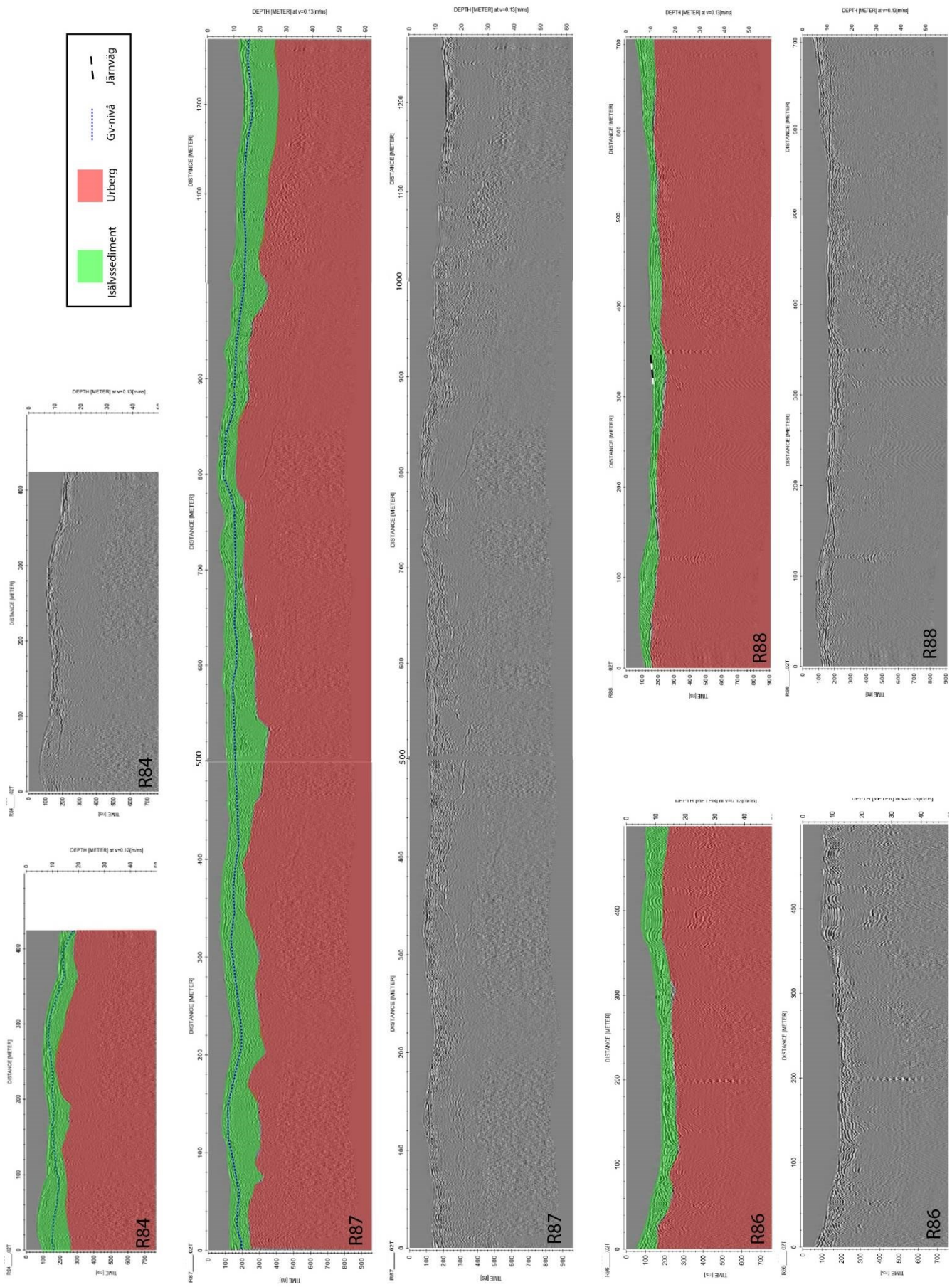
Bilaga 2



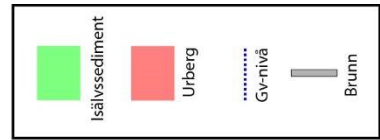
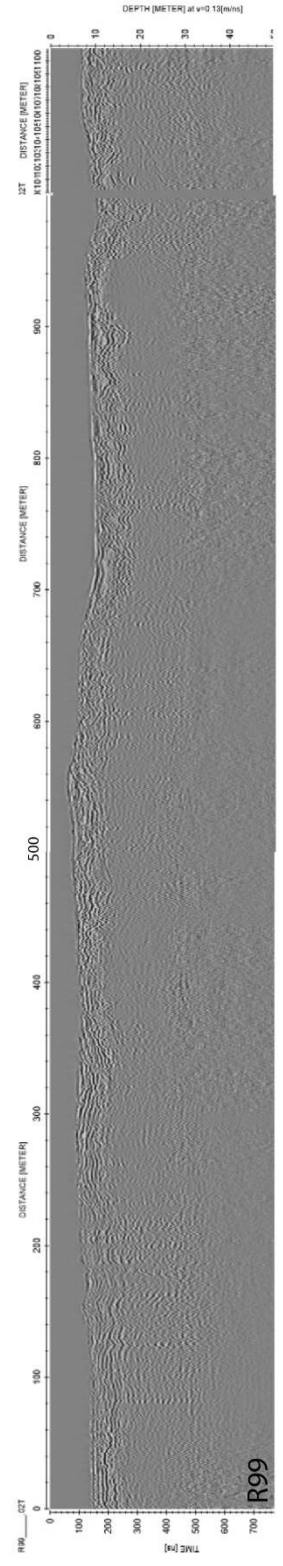
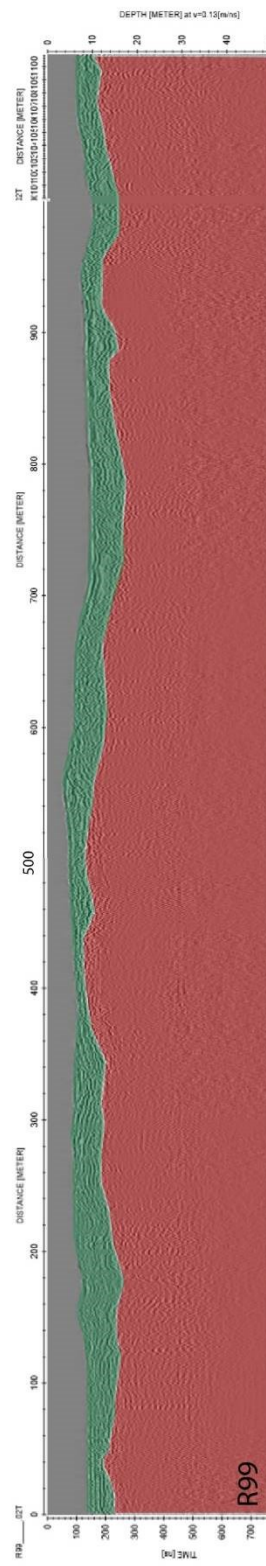
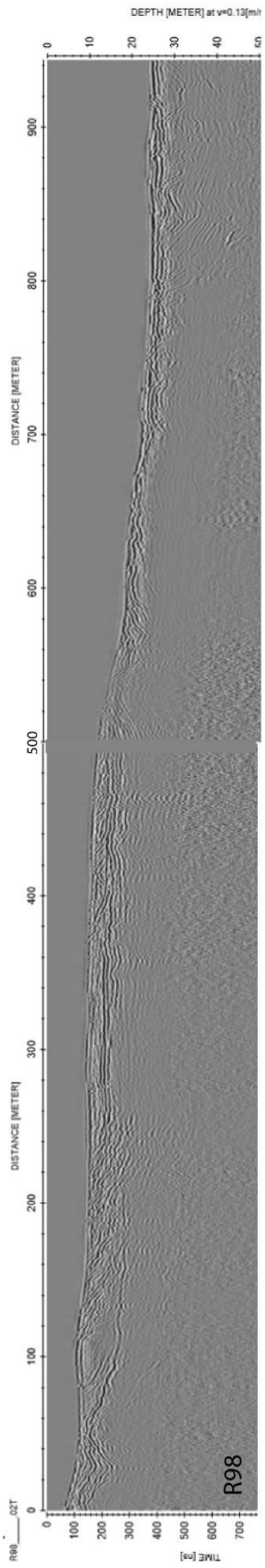
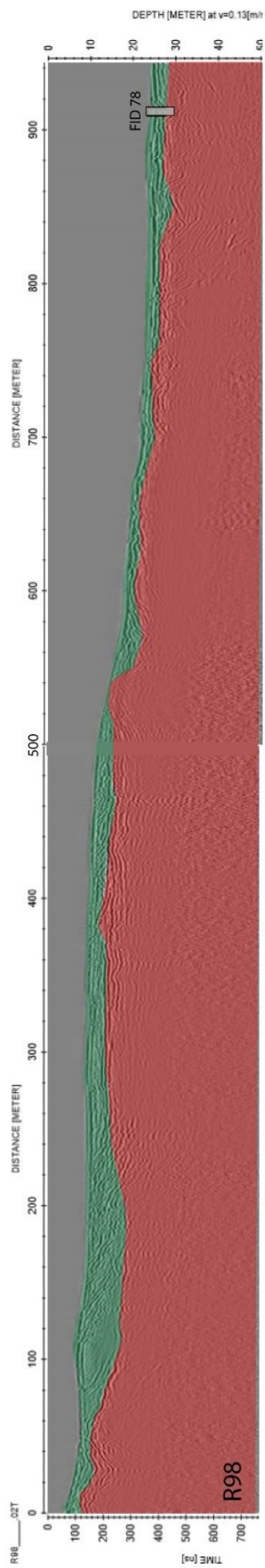
Bilaga 3



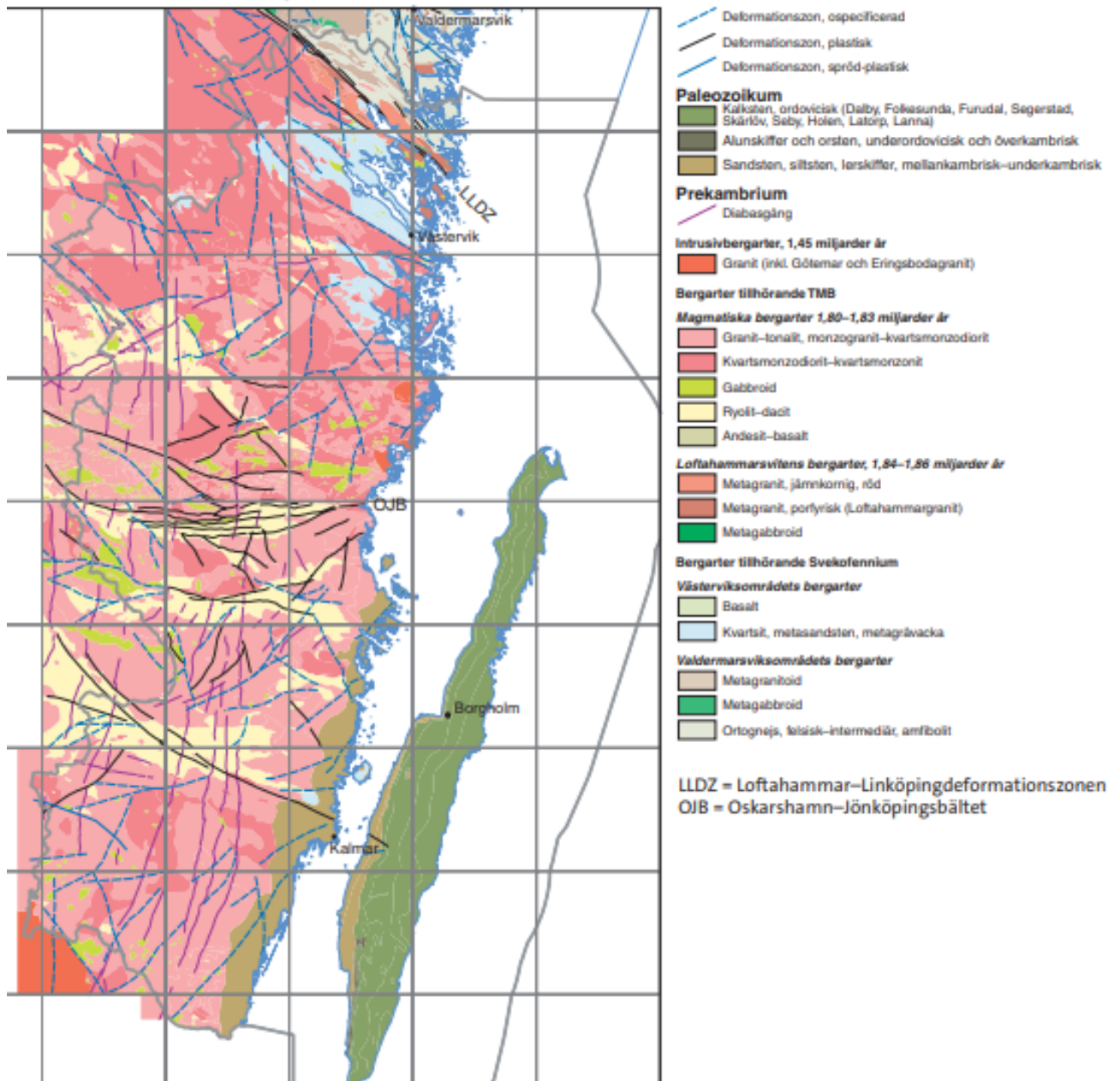
Bilaga 4



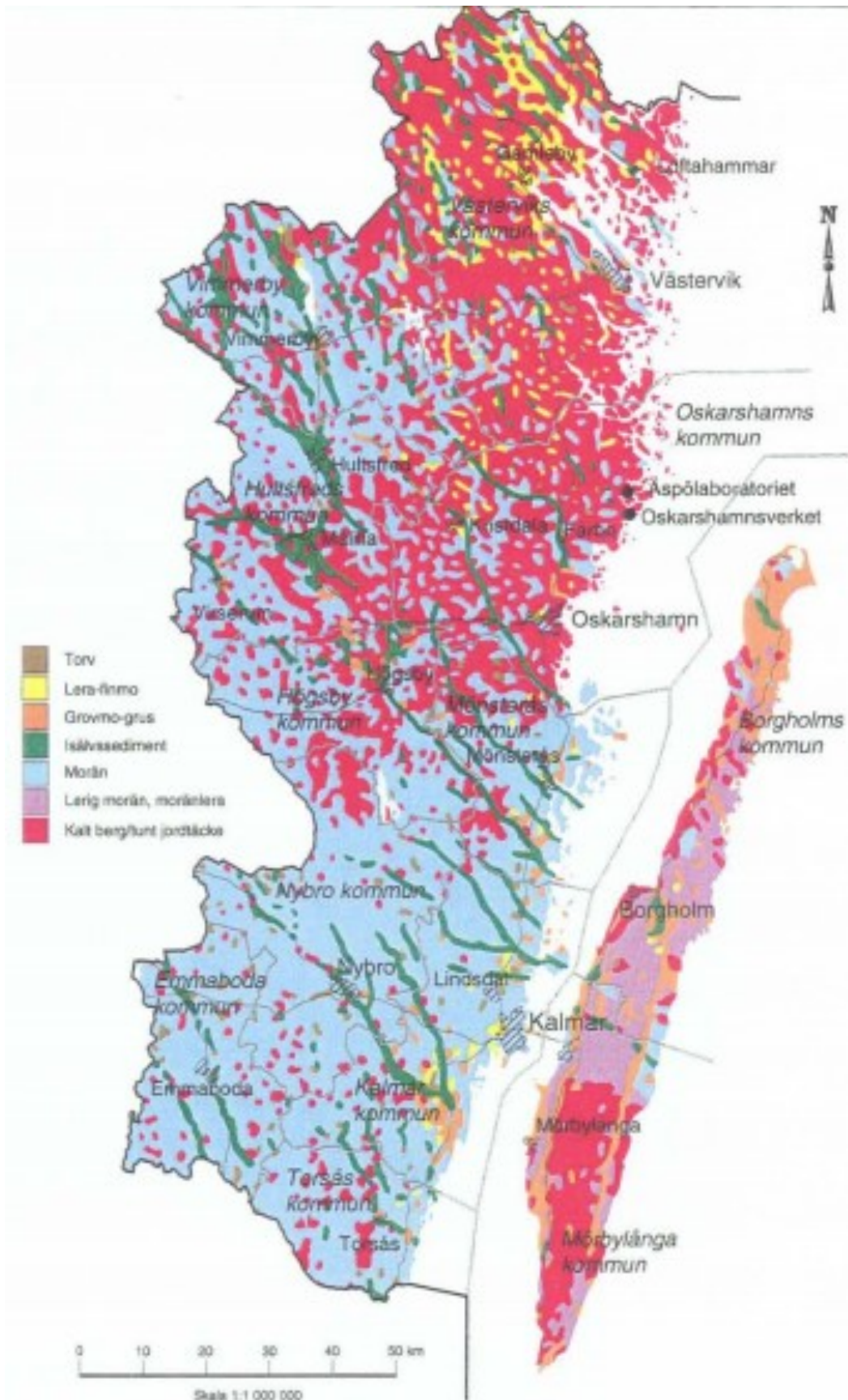
Bilaga 5



Bilaga 6



Bilaga 7



**Tidigare skrifter i serien
”Examensarbeten i Geologi vid Lunds
universitet”:**

507. Kempengren, Henrik, 2017: Föreningsspridning från kustnära deponi: Applicering av Landsim 2.5 för modellering av lakvattentransport till Östersjön. (15 hp)
508. Ekborg, Charlotte, 2017: En studie på samband mellan jordmekaniska egenskaper och hydrodynamiska processer när erosion påverkar släntstabiliteten vid ökad nederbörd. (15 hp)
509. Silvén, Björn, 2017: LiDARstudie av glaciala landformer sydväst om Söderåsen, Skåne, Sverige. (15 hp)
510. Rönning, Lydia, 2017: Ceratopsida dinosauriers migrationsmönster under krittiden baserat på paleobiogeografi och fylogeni. (15 hp)
511. Engleson, Kristina, 2017: Miljökonsekvensbeskrivning Revinge brunnsfält. (15 hp)
512. Ingered, Mimmi, 2017: U-Pb datering av zirkon från migmatitisk gnejs i Delsjöområdet, Idefjordenterrängen. (15 hp)
513. Kervall, Hanna, 2017: EGS - framtidens geotermiska system. (15 hp)
514. Walheim, Karin, 2017: Kvartsmineralogins betydelse för en lyckad luminescensdatering. (15 hp)
515. Aldenius, Erik, 2017: Lunds Geotermisystem, en utvärdering av 30 års drift. (15 hp)
516. Aulin, Linda, 2017: Constraining the duration of eruptions of the Rangitoto volcano, New Zealand, using paleomagnetism. (15 hp)
517. Hydén, Christina Engberg, 2017: Drumlinerna i Löberöd - Spår efter flera isrörelseriktningar i mellersta Skåne. (15 hp)
518. Svantesson, Fredrik, 2017: Metodik för kartläggning och klassificering av erosion och släntstabilitet i vattendrag. (45 hp)
519. Stjern, Rebecka, 2017: Hur påverkas luminescenssignaler från kvarts under laboratorieförhållanden? (15 hp)
520. Karlstedt, Filippa, 2017: P-T estimation of the metamorphism of gabbro to garnet amphibolite at Herrestad, Eastern Segment of the Sveconorwegian orogen. (45 hp)
521. Önnervik, Oscar, 2017: Ooider som naturliga arkiv för förändringar i havens geokemi och jordens klimat. (15 hp)
522. Nilsson, Hanna, 2017: Kartläggning av sand och naturgrus med hjälp av resistivitetmätning på Själland, Danmark. (15 hp)
523. Christensson, Lisa, 2017: Geofysisk undersökning av grundvattenskydd för planerad reservvattentäkt i Mjölkalånga, Hässleholms kommun. (15 hp)
524. Stamsnijder, Joaen, 2017: New geochronological constraints on the Klipriviersberg Group: defining a new Neoproterozoic large igneous province on the Kaapvaal Craton, South Africa. (45 hp)
525. Becker Jensen, Amanda, 2017: Den eocena Furformationen i Danmark: exceptionella bevaringstillstånd har bidragit till att djurs mjukdelar fossiliserats. (15 hp)
526. Radomski, Jan, 2018: Carbonate sedimentology and carbon isotope stratigraphy of the Tallbacken-1 core, early Wenlock Slite Group, Gotland, Sweden. (45 hp)
527. Pettersson, Johan, 2018: Ultrastructure and biomolecular composition of sea turtle epidermal remains from the Campanian (Upper Cretaceous) North Sulphur River of Texas. (45 hp)
528. Jansson, Robin, 2018: Multidisciplinary perspective on a natural attenuation zone in a PCE contaminated aquifer. (45 hp)
529. Larsson, Alfred, 2018: Rb-Sr sphalerite data and implications for the source and timing of Pb-Zn deposits at the Caledonian margin in Sweden. (45 hp)
530. Balija, Fisnik, 2018: Stratigraphy and pyrite geochemistry of the Lower–Upper Ordovician in the Lerhamn and Fågelsång -3 drill cores, Scania, Sweden. (45 hp)
531. Höglund, Nikolas, 2018: Groundwater chemistry evaluation and a GIS-based approach for determining groundwater potential in Mörbylånga, Sweden. (45 hp)
532. Haag, Vendela, 2018: Studie av mikrostrukturer i karbonatslagkägglor från nedslagsstrukturen Charlevoix, Kanada. (15 hp)
533. Hebrard, Benoit, 2018: Antropocen – vad, när och hur? (15 hp)
534. Jancsak, Nathalie, 2018: Åtgärder mot kusterosion i Skåne, samt en fallstudie av erosionsskydden i Löderup, Ystad kommun. (15 hp)
535. Zachén, Gabriel, 2018: Mesosideriter – redogörelse av bildningsprocesser samt SEM-analys av Vaca Muertameteoriten. (15 hp)
536. Fägersten, Andreas, 2018: Lateral variability in the quantification of calcareous nannofossils in the Upper Triassic, Austria. (15 hp)
537. Hjertman, Anna, 2018: Förutsättningar för djupinfiltration av ytvatten från Ivösjön till Kristianstadbassängen. (15 hp)
538. Lagerstam, Clarence, 2018: Varför svalde svanödlor (Reptilia, Plesiosauroidea) stenar? (15 hp)

539. Pilser, Hannes, 2018: Mg/Ca i bottenlevande foraminiferer, särskilt med avseende på temperaturer nära 0°C. (15 hp)
540. Christiansen, Emma, 2018: Mikroplast på och i havsbotten - Utbredningen av mikroplaster i marina bottensediment och dess påverkan på marina miljöer. (15 hp)
541. Staahnacke, Simon, 2018: En sammanställning av norra Skånes prekambriska berggrund. (15 hp)
542. Martell, Josefin, 2018: Shock metamorphic features in zircon grains from the Mien impact structure - clues to conditions during impact. (45 hp)
543. Chitindingu, Tawonga, 2018: Petrological characterization of the Cambrian sandstone reservoirs in the Baltic Basin, Sweden. (45 hp)
544. Chonewicz, Julia, 2018: Dimensionerande vattenförbrukning och alternativa vattenkvaliteter. (15 hp)
545. Adeen, Lina, 2018: Hur lämpliga är de geofysiska metoderna resistivitet och IP för kartläggning av PFOS? (15 hp)
546. Nilsson Brunlid, Anette, 2018: Impact of southern Baltic sea-level changes on landscape development in the Verkeån River valley at Haväng, southern Sweden, during the early and mid Holocene. (45 hp)
547. Perälä, Jesper, 2018: Dynamic Recrystallization in the Sveconorwegian Frontal Wedge, Småland, southern Sweden. (45 hp)
548. Artursson, Christopher, 2018: Stratigraphy, sedimentology and geophysical assessment of the early Silurian Halla and Klinteberg formations, Altajme core, Gotland, Sweden. (45 hp)
549. Kempengren, Henrik, 2018: Att välja den mest hållbara efterbehandlingsmetoden vid sanering: Applicering av beslutsstödsverktyget SAMLA. (45 hp)
550. Andreasson, Dagnija, 2018: Assessment of using liquidity index for the approximation of undrained shear strength of clay tills in Scania. (45 hp)
551. Ahrenstedt, Viktor, 2018: The Neoproterozoic Visingsö Group of southern Sweden: Lithology, sequence stratigraphy and provenance of the Middle Formation. (45 hp)
552. Berglund, Marie, 2018: Basaltkuppen - ett spel om mineralogi och petrologi. (15 hp)
553. Hermnäs, Tove, 2018: Garnet amphibolite in the internal Eastern Segment, Sveconorwegian Province: monitors of metamorphic recrystallization at high temperature and pressure during Sveconorwegian orogeny. (45 hp)
554. Halling, Jenny, 2019: Characterization of black rust in reinforced concrete structures: analyses of field samples from southern Sweden. (45 hp)
555. Stevic, Marijana, 2019: Stratigraphy and dating of a lake sediment record from Lyngsjön, eastern Scania - human impact and aeolian sand deposition during the last millennium. (45 hp)
556. Rabanser, Monika, 2019: Processes of Lateral Moraine Formation at a Debris-covered Glacier, Suldenferner (Vedretta di Solda), Italy. (45 hp)
557. Nilsson, Hanna, 2019: Records of environmental change and sedimentation processes over the last century in a Baltic coastal inlet. (45 hp)
558. Ingered, Mimmi, 2019: Zircon U-Pb constraints on the timing of Sveconorwegian migmatite formation in the Western and Median Segments of the Idefjorden terrane, SW Sweden. (45 hp)
559. Hjorth, Ingeborg, 2019: Paleomagnetisk undersökning av vulkanen Rangitoto, Nya Zeeland, för att bestämma dess utbrottshistoria. (15 hp)
560. Westberg, Märta, 2019: Enigmatic worm-like fossils from the Silurian Waukesha Lagerstätte, Wisconsin, USA. (15 hp)
561. Björn, Julia, 2019: Undersökning av påverkan på hydraulisk konduktivitet i förorenat område efter in situ saneringsförsök. (15 hp)
562. Faraj, Haider, 2019: Tolkning av georadarprofiler över grundvattenmagasinet Verveln - Gullringen i Kalmar län. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund