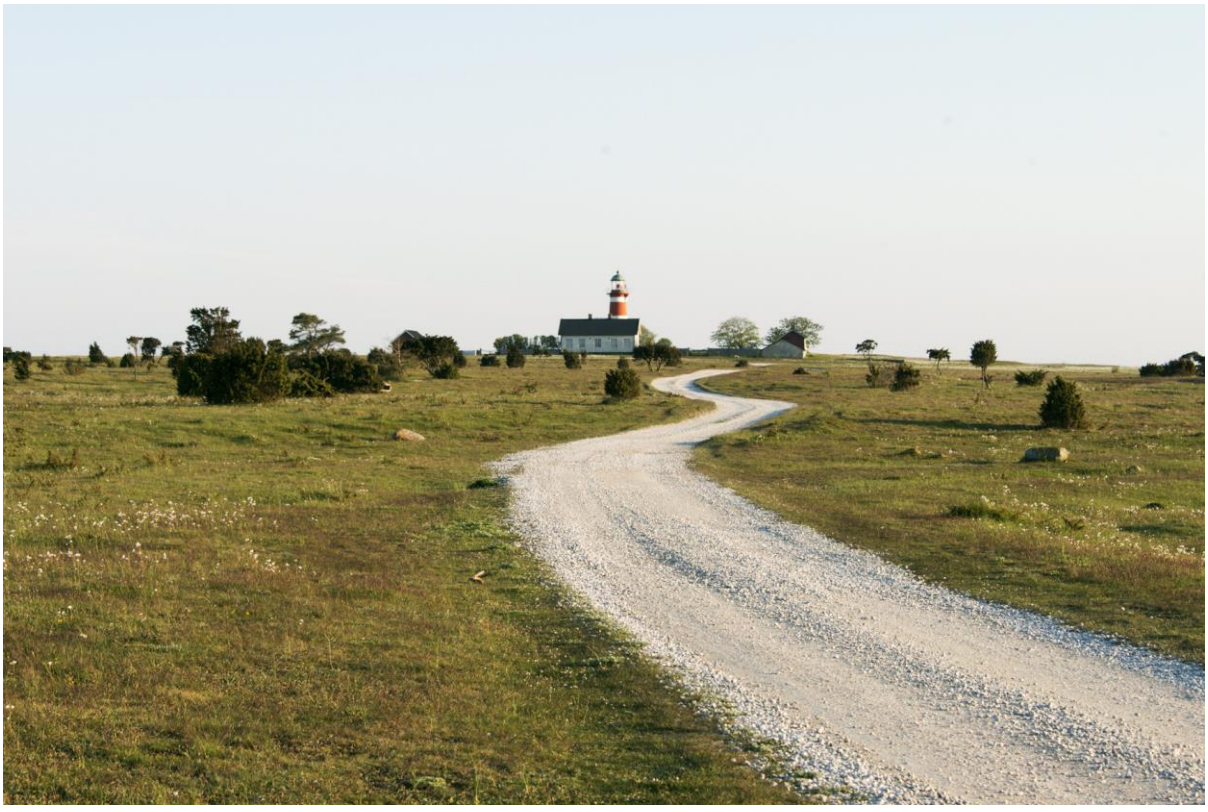
Beskrivning av grundvattnet på Gotland

Peter Dahlqvist, Magdalena Thorsbrink,
Carl-Erik Hjerne & Lena Maxe

oktober 2022

SGU-rapport 2022:14



SGU Sveriges geologiska undersökning

Omslagsbild: Närsholmen.
Fotograf: Magdalena Thorsbrink

Författare: Peter Dahlqvist, Magdalena Thorsbrink,
Carl-Erik Hjerne, Lena Maxe.
Granskad av: Mattias Gustafsson.
Ansvarig enhetschef: Jakob Levén

Redaktör: Lina Rönnåsen

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
e-post: sgu@sgu.se

INNEHÅLL

Sammanfattning 5
Abstract 6
Termer 7
Inledning 9
Bedömningsunderlag 10
Gotlands geologi 11
Gotlands berggrund 11
Gotlands jordartsgeologiska förhållanden 14
Grundvattnets förekomst på Gotland 17
Kalksten 22
Märgel och märgelsten 23
Gränszon mellan kalksten och märgel/märgelsten 24
Kalksten och märgel med överlagrande sand- och grusavlagringar 25
Större sand- och grusavlagringar 26
Sandsten 27
Indelningsgrunder för grundvatten 28
Grundvattenmagasin 28
Grundvattenförekomster inom vattenförvaltningen 29
Bedömning av grundvattentillgång 30
Grundvattenbildning 31
Magasineringsförmåga 32
Beräkningsmodell för grundvattentillgång i små grundvattenmagasin 33
Grundvattentillgång i ett förändrat klimat 33
Beskrivning av grundvattentillgångar 34
Fårö 35
Lärbro–Fårösund 40
Hangvar–Othem 45
Visby 50
Roma–Gothem 56
Tofta–Klintehamn 63
Östergarnslandet 68
Eksta–Havdhem 72
Ljugarn–Stånga 77
Storsudret 83

Grundvattnets kvalitet 88
Övervakning grundvattennivåer 92
Grundvattenberoende ekosystem 93
Referenser 94
Bilaga 1. Nytillkommet underlag 99
SkyTEM 99
Borrningar 100
Markbaserade geofysiska undersökningar 101
3D-modell 102
Våtmarker och förstärkt grundvattenbildning 102
Bilaga 2. Grundvattnets kvalitet på Gotland 103
Bilaga 3. Grundvattnets kvalitet på Gotland – Kartor 105

SAMMANFATTNING

Rapporten beskriver grundvattnets förekomst och karakteristiska hydrogeologiska förhållanden på Gotland. Syftet med beskrivningen är att text och kartor ska kunna ligga till grund för planering när det rör enskild och kommunal vattenförsörjning och skydd av grundvatten, men även vid undermarksarbeten och planering av bostäder, industriområden, grustäkter m.m. Underlaget kan även användas då olika intressen, som t.ex. kalkindustrin, geoenergi, och vattenförsörjning gör att det kan uppstå såväl möjligheter till samordning som konfliktsituationer gällande grundvattenfrågorna. Den erhållna kunskapen och insamlade informationen kan användas som hydrogeologiskt bedömningsunderlag för handläggare på Region Gotland, Länsstyrelsen Gotland, Vattenmyndigheten Södra Östersjön, konsulter, mark- och miljödomstolen, av enskilda fastighetsägare och stora som små näringsidkare.

Sett över ett normalt helår, och sett till Gotland som helhet, så är nederbörden på Gotland ofta tillräcklig för att möjliggöra en tillräcklig grundvattenbildning för samhällets och naturens behov. Dock saknas många gånger tillräcklig lagringskapacitet i berggrunden och i de generellt tunna jordlagren, samtidigt som stora delar av Gotland är utdikat, vilket tillsammans gör att den nederbörd som kunnat bli grundvatten, om än för en kort period, ofta försvinner bort från ön i stället för att lagras i marken. En möjlig väg för en förbättrad vattenförsörjning på Gotland är att genom magasinering i dammar, sjöar och grundvattenmagasin skapa buffert till tider med låg nederbörd och låg naturlig grundvattenbildning. Detta görs i viss mån idag men det finns väsentliga möjligheter (t.ex. Dahlqvist m.fl. 2017b, 2019).

Efter en allmän översikt över grundvattnets förekomst på Gotland ger rapporten beskrivningar av följande:

- Grundvattnets förekomst i olika geologiska miljöer som kalksten, märgel, gränszon mellan kalksten och märgel, större sand- och grusavlagringar och sandsten.
- Tio olika delområden där den valda indelningen är gjord utifrån variationen i geologiska och hydrogeologiska förutsättningar. Samma områdesindelning utgör också föreslag till ny grundvattenförekomstindelning i arbetet inom vattenförvaltningen. För varje delområde ges en beskrivning av områdets terrängläge och geologi, en hydrogeologisk översikt, och en beskrivning av uttagsmöjligheter och anslutande ytvatten. Inom varje område beskrivs också grundvattentillgången med utgångspunkt från det underlag SGU tagit fram (Hjerne m.fl. 2021a) som redovisar vattentillgången i små grundvattenmagasin, vilket bedöms vara representativt för förutsättningarna på större delen av Gotland.
- Grundvattnets kvalitet beskrivs översiktligt för flera parametrar och speciellt klorid, bor och fluorid. Berggrunden på Gotland domineras av lättvittrad kalksten och märgelsten vilket ger ett hårt vatten med höga halter av alkalinitet, pH, kalcium och magnesium.

Grundvattentillgången presenteras i enheten liter/dygn/hektar och utgår ifrån att uttaget av vatten sker i berggrunden, vilket är vanligast förekommande för såväl allmän som enskild vattenförsörjning på Gotland. Tillgången varierar stort, från mindre än 250 l/dygn/hektar i områden som ofta karakteriseras av tunna jordlager, mycket häll och låg magasineringsförmåga till områden med över 1500 l/dygn/hektar i områden med mäktigare jordlager, högre grundvattenbildning och högre magasineringskapacitet. Den till ytan vanligaste bedömningen av uttagsmöjligheten ligger på 500–1 000 l/dygn/ha. Det finns få om ens några platser på Gotland där det ur en eller ett fåtal brunnar går att göra riktigt stora grundvattenuttag under en längre period, i alla fall inte utan att skapa sänkta grundvattennivåer och de problem sådana för med sig. Dock finns det områden på ön som tål ett relativt stort grundvattenuttag fördelat på större antal brunnar. Vissa av dessa områden nyttjas idag för den allmänna vattenförsörjningen.

ABSTRACT

This report describes hydrogeological conditions on Gotland. This information can be used as a basis for private and public water supply management, groundwater protection, underground construction works, and land use planning, including resolution of potential conflicts of interests between groundwater supply and activities such as mining and geothermal energy extraction. The report provides a hydrogeological assessment for regional authorities including Region Gotland, the County Administrative Board of Gotland, the Water Authority of the southern Baltic, as well as the Land and Environment Court, private companies, and individuals.

During an average year on Gotland, precipitation theoretically provides sufficient groundwater recharge to meet the needs of nature and society. However, bedrock characteristics and thin soil covers often result in limited storage capacity. In addition, large parts of Gotland are drained by ditches, resulting in substantial amounts of precipitation being transported directly out to sea as surficial run-off, rather than recharging groundwater. Thus, one way to secure water supply in Gotland is via precipitation storage in dams, lakes, and groundwater reservoirs to create buffers for dry periods. To some extent, such efforts are already in place, but there is significant potential to further deploy this strategy (e.g. Dahlqvist et.al 2017b, 2019).

Following a general overview of groundwater occurrence in Gotland, the report provides descriptions of the following:

- Geological context, including the distribution of limestone marl, and sandstone bedrock, bedrock transition zones, and sand and gravel sediments.
- Ten geographical subregions defined by hydrogeological conditions. The subregions are proposed to constitute a revised and improved basis for groundwater body delineation to enable groundwater management according to the water framework directive. For each subregion, a description of topography and geology is followed by a hydrogeological and hydrological overview, and an estimate of groundwater extraction potential. This potential is estimated using the methodology developed by SGU for small groundwater reservoirs, which generally occur on Gotland (Hjerne et.al. 2021b). The groundwater extraction potential is reported as liters per day and hectare (l/day/ha) and assumes that groundwater is extracted from bedrock, which is typical for both private and public water supply in Gotland.
- Groundwater chemistry for the entire island, particularly with respect to chloride, boron, and fluoride. The bedrock in Gotland is dominated by limestone and marl prone to weathering through dissolution, resulting in a generally hard, alkaline (high pH) groundwater, rich in calcium and magnesium.

Estimates of extraction potential vary substantially over the island, from less than 250 l /day/ha in areas characterised by thin soil, frequent bedrock outcrops, and low storage capacity, to more than 1 500 l/day/ha in areas with thicker soils, more substantial groundwater recharge, and greater storage capacity. Groundwater extraction potential on Gotland is commonly 500–1 000 l/day/ha. There are few, if any, places in Gotland where natural conditions allow for major groundwater pumping over long periods, without resulting in groundwater table lowering that would likely to cause significant (adverse) environmental impacts. There are, however, parts of the island where considerable volumes of groundwater may be extracted if pumping is distributed over a larger number of wells. Public water supply already partly relies on this type of groundwater extraction from well fields.

TERMER

Akvifer: En vattenförande formation i jord eller berg som kan avge vatten i betydande mängder.

Artesisk: Egenskap hos grundvatten i ett slutet grundvattenmagasin som innebär att grundvattnets tryckyta är belägen över markytan.

Brunnsarkivet: SGU:s brunnsarkiv som tar emot och lagrar information om brunnar enligt lagen om uppgiftsskyldighet (SFS 1975:424).

Geologisk enhet: En volym av jord eller berg som kan identifieras och avgränsas avseende dess geologiska karakteristika som t.ex. dess litologi, bildningssätt, petrografi, fossilinnehåll.

Geologisk formation: En (beständig) geologisk bildning med väl urskiljbara gränser.

Grundvattenbildning: Den process som leder till påfyllnad av grundvattenmagasin genom att nederbörd infiltrerar ner i marken, perkolerar genom den omättade zonen och når grundvattnet.

Grundvattendelare: En grundvattendelare vars läge ej påverkas av förändrade grundvattennivåer kallas fast grundvattendelare. En grundvattendelare vars läge kan påverkas av förändrade grundvattennivåer benämns rörlig grundvattendelare.

Grundvattenförekomst: Inom svensk vattenförvaltning har termen en särskild innebörd och avser de specifikt utpekade grundvattenförekomster som omfattas av rapporteringsskyldighet m.m. enligt EU:s vattendirektiv.

Grundvattenmagasin: En hydrauliskt avgränsad enhet av en eller flera geologiska formationer som medger utbyte av grundvatten. Ett slutet grundvattenmagasin överlagras av ett tätande geologiskt lager, och trycknivån ligger över magasinets övre begränsningsnivå. Ett öppet grundvattenmagasin avgränsas uppåt av en grundvattenyta där det hydrostatiska trycket är lika med atmosfärstrycket (en fri grundvattenyta).

Grundvattennivå: Ett mer korrekt begrepp är egentligen grundvattentrycknivå, men vanligen används grundvattennivå som en synonym till detta. Med grundvattennivå avses nivån på den fria vattenyta som kan observeras i brunnar, grundvattenrör eller grävda gropar. I ett öppet grundvattenmagasin kan den sammanfalla med den fria grundvattenytan.

Hydraulisk konduktivitet, K (m/s): Ett mått på markens vattengenomsläpplighet.

Karst: Karstsystem bildas genom att strömmande yt- och grundvatten löser upp och vidgar befintliga spricksystem i kalksten till öppna sprickgångar och hålrum. Den kemiska reaktionen sker genom upplösning av karbonat med kolsyra som bildas genom att atmosfärens koldioxid löser sig i nederbörden.

Konsoliderad: Sediment som genom tryck och kemiska utfällningar hårdnat. Exempelvis sand som konsoliderats till sandsten genom att kalciumkarbonat fällts ut i porutrymmet, motsatsen är okonsoliderad.

Litologi: Beskrivning av jord- eller bergart beroende på kornstorlek och mineralsammansättning.

Mättad zon: Den zon i marken där alla porer är fyllda med vatten, kallas ibland även för grundvattenzonen.

Nettonederbörd: Skillnaden mellan nederbörd och evapotranspiration betecknas som nettonederbörd, kallas ibland även för effektiv nederbörd.

Perkolation: Den process som beskriver hur infiltrerad nederbörd rör sig nedåt genom en markprofil mot grundvattnet.

Permeabilitet: I grundvattensammanhang, markens vattengenomsläpplighet, anges i m/s.

Por-sprickakviferer: Akvifer där en del av vattnet rör sig i por- och spricksystem i hela den vattenmättade delen av bildningen och en annan del av vattnet rör sig i sprickor.

SkyTEM: Helikopterburen TEM-metod anpassad för hydrogeologiska tillämpningar. SkyTEM är också namnet på det företag som utför mätningarna.

TEM: Transient ElektroMagnetisk, en elektromagnetisk geofysisk mätmetod.

Transmissivitet: Ett mått på den mängd vatten som kan röra sig genom en akvifer, uttryckt som hydrauliska konduktiviteten multiplicerad med akviferens mäktighet, anges i m^2/s.

VISS: VattenInformationsSystem för Sverige.

Vät: En tillfällig, ofta grund, vattensamling som ofta torkar ut under sommaren genom avdunstning.

INLEDNING

Denna rapport redogör för grundvattnets förekomst på Gotland. Syftet med beskrivningen är att text och kartor ska kunna ligga till grund för planering när det rör enskild och kommunal vattenförsörjning, ge underlag i arbetet skydd av grundvatten, ge stöd vid undermarksarbeten, planering av bostäder, industriområden, grustäkter m.m. Underlaget är även tänkt att kunna ge stöd då olika intressen i vissa situationer kan stå i konflikt med varandra, men där man genom god kunskap kan hitta möjliga vägar att skapa samordning och i möjligaste mån undvika onödiga konfliktsituationer gällande grundvattenfrågorna. Tänkta användare är bland annat handläggare på Region Gotland, Länsstyrelsen Gotland, Vattenmyndigheten Södra Östersjön, konsulter, Mark- och miljödomstolen, men även enskilda fastighetsägare och stora som små näringsidkare. Utöver denna beskrivning ges också ett värdefullt stöd genom det informationsmaterial om grundvatten på Gotland som tagits fram av Region Gotland (2016).

Sedan tidigare fanns en hydrogeologisk karta med beskrivning över Gotlands län som i stor utsträckning bygger på uppgifter från Brunnsarkivet (Karlqvist m.fl. 1982). Bedömningen som framgår i kartan (Karlqvist m.fl. 1982) har i flera fall visat sig vara en överskattning av vattentillgången vilket är en av anledningarna till den nu framtagna beskrivningen.

Arbetet med beskrivningen har utförts inom ramen för projektet Grundvattenkartering inom Södra Östersjöns vattendistrikt (projekt-id: 83024) samt med stöd av medel via SGU:s extrasatsning med fokus på områden med risk för brist på grundvatten (projekt-id: 83025). SGU har utöver arbetet med beskrivningen, sedan 2013, successivt också uppdaterat den regionala hydrogeologiska kunskapen om grundvattenförhållandena på ön genom ett flertal olika fältundersökningar (fig. 1). Undersökningarna har omfattat helikopterburna TEM-mätningar, borrningar i berg, borrningar i jord, utökad övervakning av grundvattennivåer, geofysiska mätningar på marken och i borrhål samt undersökningar om våtmarker och grundvattenbildning vid befintliga kommunala vattentäkter, samt utökning av 100-provtagningen 2015. En sammanställning av dessa undersökningar presenteras i bilaga 1.

Parallellt med de arbeten som utförts lokalt på Gotland, har SGU under de senaste åren utvecklat en nationell bedömning för grundvattentillgången i små grundvattenmagasin angivet i enheten liter/dygn/hektar (Hjerne m.fl. 2021a). Denna bedömning av grundvattentillgången ersätter SGU:s tidigare bedömningar av grundvattentillgången i små grundvattenmagasin för samtliga områden på Gotland där det råder denna typ av förhållanden.

Grundvattnet är på grund av de geologiska förutsättningarna sårbart för föroreningar på stora delar av Gotland. Områden med permeabla jordlager, liten jordmäktighet, och förekomst av karst är extra sårbara. SGU har utarbetat en sårbarhetskarta för Gotland (SGU 1995) som används av region och länsstyrelse. Detta underlag har stort värde än idag och nu framtagna underlag skall ses som ett komplement till dessa bedömningar.

Sett över ett normalt helår så är nederbörden på Gotland tillräcklig för att möjliggöra en tillräcklig grundvattenbildning för samhällets och naturens behov. Dock saknas många gånger tillräcklig lagringskapacitet i berggrunden och i de generellt tunna jordlagren, samtidigt som stora delar av Gotland är utdikat, vilket tillsammans gör att den nederbörd som kunnat bli grundvatten ofta försvinner bort från ön i stället för att lagras i marken under så lång tid att den kan nyttjas för till exempel vattenförsörjning. En möjlig väg för en säkrad vattenförsörjning på Gotland är att genom magasinering i dammar, sjöar och grundvattenmagasin stärka magasineringsförmågan och skapa en buffert till tider med låg nederbörd och låg naturlig grundvattenbildning. Detta görs i viss mån redan idag men det finns väsentliga möjligheter. Förhoppningen är att denna beskrivning ska kunna ge stöd även i denna typ av frågeställningar.

Bedömningsunderlag

Rapporten baseras dels på äldre kunskap, rapporter och erfarenheter, dels på nytillkomna underlag. Ett av dessa är resultaten från de helikopterburna TEM-mätningarna som utförts över mer än en tredjedel av Gotland och som inkluderade 24 undersökningsborrningar (fig. 1, Dahlqvist m.fl. 2015, 2017). Resultaten från dessa mätningar har bland annat använts för uppdateringen av SGU:s jorddjupsmodell samt i upprättande av olika 3D-modeller över Gotlands geologi. I Dahlqvist m.fl. (2017, 2019) redovisas områden som är lämpliga för anläggande av våtmarker, dammar och infiltrationsanläggningar för att öka mängden grundvatten i angränsande grundvattenmagasin. I Erlström m.fl. (2022a) ges detaljerad information om karst på Gotland och Erlström m.fl. (2022b) om berggrunden på Sudret. Mer ingående beskrivningar av de nya underlagen presenteras i bilaga 1.

SGU:s bedömning av grundvattentillgång som redovisas i rapporten motsvarar de bedömningar som presenteras i SGU:s nya karta över grundvattentillgång i små grundvattenmagasin (Hjerne m.fl. 2021a). Denna produkt bygger bland annat på den uppdaterade jorddjupsmodellen samt en ny karta över berggrundens genomsläpplighet (den så kallade hydrauliska konduktiviteten, Hjerne m.fl. 2021b). En central förutsättning för samtliga dessa produkter är Brunnsarkivet vid SGU som idag innehåller över 8 600 brunnar på Gotland (januari 2022, bilaga 1). Beskrivningen av grundvattnets kvalitet bygger på den sammanställning av vattenanalyser som gjorts i samband med revidering av Bedömningsgrunder för grundvatten.

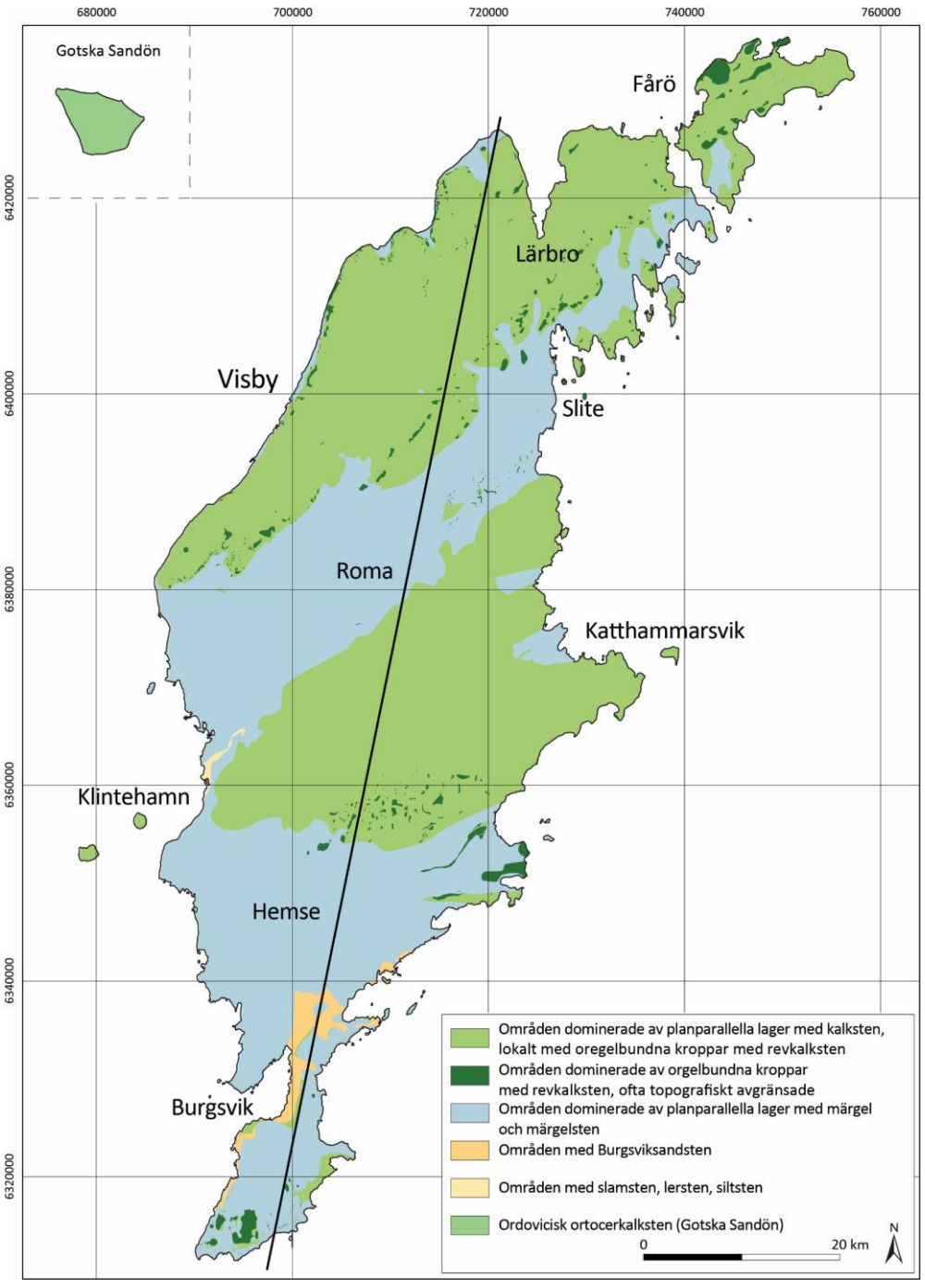
Därtill har platsspecifik kunskap från utredningar, rapporter och underlag från vattenförvaltningen, utgjort ett värdefullt underlag för den skriftliga beskrivningen av grundvattentillgången.

Figur 1. Mätning av temperatur och konduktivitet vid en av SGU:s undersökningsborrningar. Foto Magdalena Thorsbrink.

GOTLANDS GEOLOGI

Gotlands berggrund

Den gotländska ytberggrunden utgörs av en 250–800 m mäktig sekvens med äldre paleozoiska sedimentära bergarter som överlagrar det kristallina urberget (Erlström m.fl. 2009). Den ytliga berggrunden består av siluriska bergarter och kan grovt delas in i områden med kalksten respektive områden med märgel och märgelsten, där även växellagring mellan kalksten och märgel är vanligt förekommande (fig. 2). Bergarterna är generellt grövre och mer karbonatrika



Figur 2. Förenklad berggrundskarta över Gotland samt Gotska Sandön (efter Erlström m.fl. 2009). Profilen visas i fig. 3.

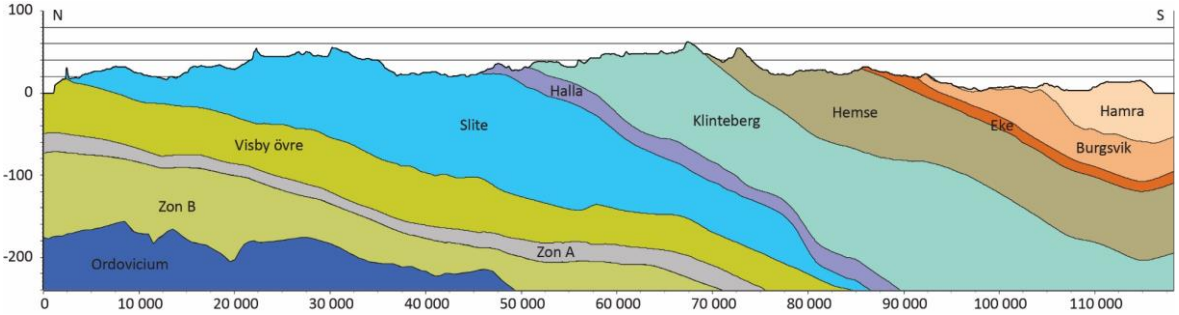
i nordost jämfört med i sydväst, där märgel och märgelsten (högre lerinnehåll än kalksten) är vanligare. Inom områden med kalksten förekommer revkalksten som tydligt framträder som lokala höjdpartier (fig. 2) då dessa är mer motståndskraftiga. Områden med berghällar förekommer företrädesvis inom de områden på Gotland som domineras av relativt hårdare och homogenare kalkstensberggrund. De mer lättvittrade bergarterna som märgel och märgelsten, vilka i regel är jordtäckta, påträffas mestadels i grävda och sprängda diken samt i kustskärningar.

Berggrundens lagerföljd stupar svagt åt sydsydost med lite mindre än en grads lutning och blir mäktigare i samma riktning. I figur 3 syns en stratigrafisk indelning av berggrunden i en profil från norr till söder (se fig. 2). De olika bergenheterna har namn som oftast är knutna till sitt huvudsakliga utbredningsområde. De olika enheterna består ofta av en blandning av kalksten och märgel och kan delas in i ytterligare enheter baserat på deras sammansättning och geologiska ursprung (Erlström m.fl. 2009).

Bergarten kalksten är uppbyggd av karbonatpartiklar från skalbärande organismer. Kalkstensområdena domineras av tunnlagrade (5–20 cm mäktiga lager) kalkareniter och kalcilutiter, exempelvis de stora sammanhängande hällområden på norra Gotland (fig. 2). Inslag av grova kalciruditer förekommer sporadiskt i kalkstensområdena. Oregelbundet lagrad stromatoporoidéförande kalksten och stromatoporoidédominerad, massformig, revartad kalksten förekommer i kalkstensenheterna tillhörande enheterna Högklint, Tofta, Slite, Klinteberg, Hemse och Sundre (fig. 3, fig. 2). Förekomst av dessa oregelbundet lagrade och massiva bergarter ger en mer heterogen och sönder-bruten topografi vilket syns tydligt i höjddata.

Märgel (relativt mjuk) och märgelsten (hård) är bergarter som i huvudsak är uppbyggda av ungefär lika delar lermineral och karbonat. De bildades i havsmiljöer med låg energi, t.ex. ute på shelfen eller i laguner, vilket gjorde att lerpartiklar tilläts sedimentera på havets botten. Områden dominerade av märgel och märgelsten finns oftast i lågt liggande områden på Gotland, där jorddjupen är större och blottningsgraden låg. De största sammanhängande märgelområdena finns inom Slite och Hemseenheterna (fig. 2, fig. 3).

Klastiska bergarter, här definierat som bergarter dominerade av sand, silt eller lera, är relativt sällsynta på Gotland (fig. 2). Vid Fröjel finns en tunn siltstensenhet tillhörande Fröjelformationen. På södra Gotland, från Storsudret och upp mot Grötlingbo och Ronehamn förekommer den så kallade Burgsviksformationen (fig. 2, fig. 3). Denna består av ett uppemot 50 m mäktigt avsnitt med varierande karbonathaltiga siltstens- och sandstenslager samt lersten och märgelsten. Övre delen utgörs av ett uppemot 10 m mäktigt sandstensparti som ställvis syns tydligt längs östra kusten vid Sudret.



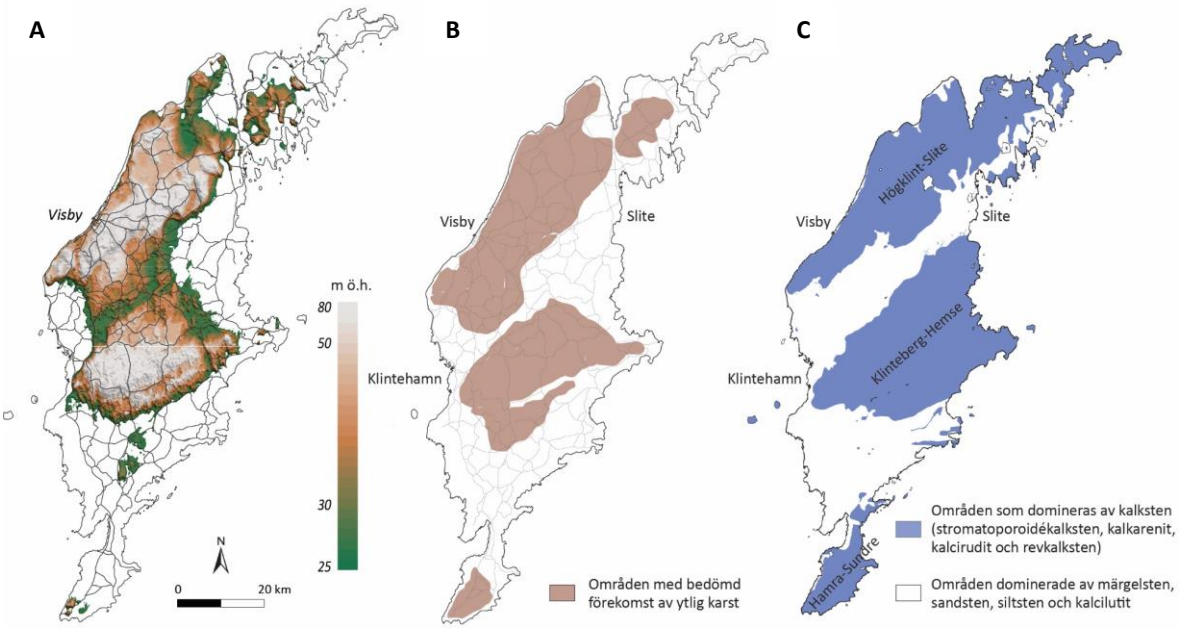
Figur 3. Profil från norr till söder med berggrundens indelning i olika stratigrafiska bergartsled (omgjord från Persson 2021). Notera att höjdskalan är överdriven i skala 1:70. Profil visas i figur 2.

Det underlagrande urberget som har granitisk sammansättning har en överyta som utgör det så kallade subkambriska peneplanet med lokalt förekommande höjdområden (Flodén 1980). Direkt på urberget finns en kambrisk lagerföljd med sandsten, siltsten och skiffer som överlagras av ordoviciska karbonatdominerade bergarter, inkluderande rev (s.k. mounds) ur vilka Olje-prospektering AB (OPAB) utvunnit olja under slutet av 1900-talet (Sivhed m. fl. 2004).

Berggrundsytan på Gotland är förhållandevis lite påverkad av större tektoniska strukturer. Mindre förkastningar, sprickor och sprickzoner är dock relativt vanliga förekommande. På den regionala berggrundskartan över Gotlands län har dessa strukturer markerats (Erlström m.fl. 2009). Tektoniska zonerna har skapat strukturella förutsättningar för den kvartära erosion som format flera av de vikar vi ser idag på Gotland, till exempel Kappelshamnsviken och Fårösund. De dominerande riktningarna på förkastningar, sprickzoner och lineament på Gotland är 270–310°(VNV–OSO) och 40–60° (NNO–SSV).

I vissa områden förekommer upplösningsfenomenet karst i kalkstenen. Karstsystem bildas genom kemisk korrosion av karbonatmineral där strömmande yt- och grundvatten löser upp och vidgar befintliga spricksystem i kalkstenen till öppna sprickgångar (sprickkarren), kollapps-strukturer (doliner) och stora hålrum (grottor). Ett område med mycket karst finns vid Lummelunda. Karst förekommer ofta i områden som ligger över 25 m ö.h. och där berggrunden domineras av kalksten (fig. 4). För detaljerad information om karst på Gotland se Erlström m.fl. (2022).

En rauk är en abrasionsform som bildas genom kusterosion. På Gotland består raukarna ofta av revartad kalksten som varit mer motståndskraftiga mot vågornas erosion än omgivande mer lagrade bergarter. På Gotland finns raukar även långt inåt land, bland annat vid Boge, vilket återspeglar äldre, högre havsytenivåer, till exempel från Littorinahavet och Ancylussjön. Merparten av de kustnära raukarna bildades under postglacial tid, några större raukområdena finns vid Digershuvud, Lergrav, Langhammars, Folhammar och Holmhällar.

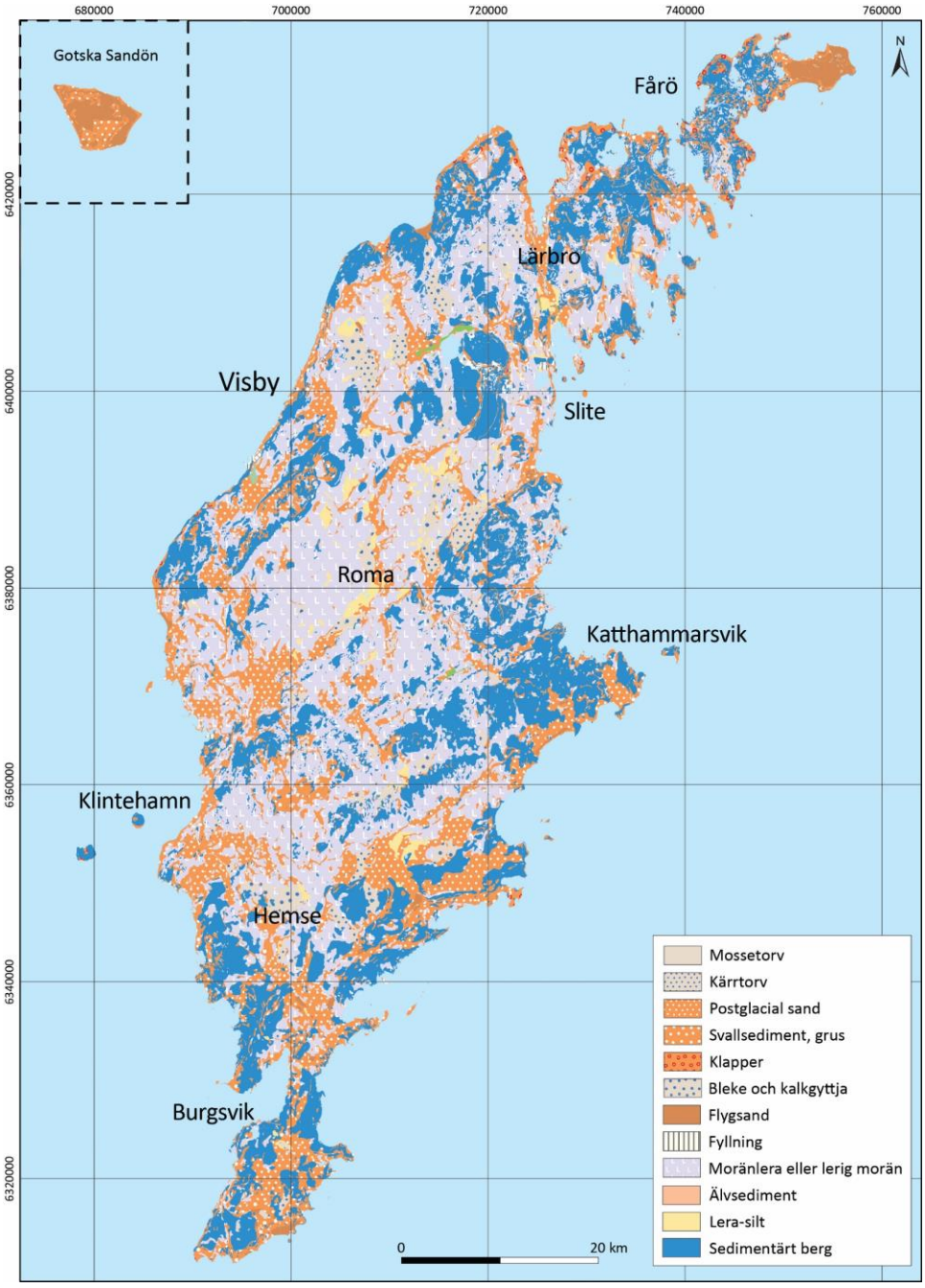


Figur 4. A. Översiktskarta som visar den del av Gotland som ligger över 25 m ö. h. **B.** Bedömd huvudsaklig förekomst av ytlig karst. **C.** Karta som visar var berggrunden domineras av kalksten. Högklint–Slite, Klinteberg–Hemse och Hamra–Sundre avser de dominerande stratigrafiska berggrundslagren inom kalkstensområdena. Figur från Erlström m. fl. 2022.

Gotlands jordartsgeologiska förhållanden

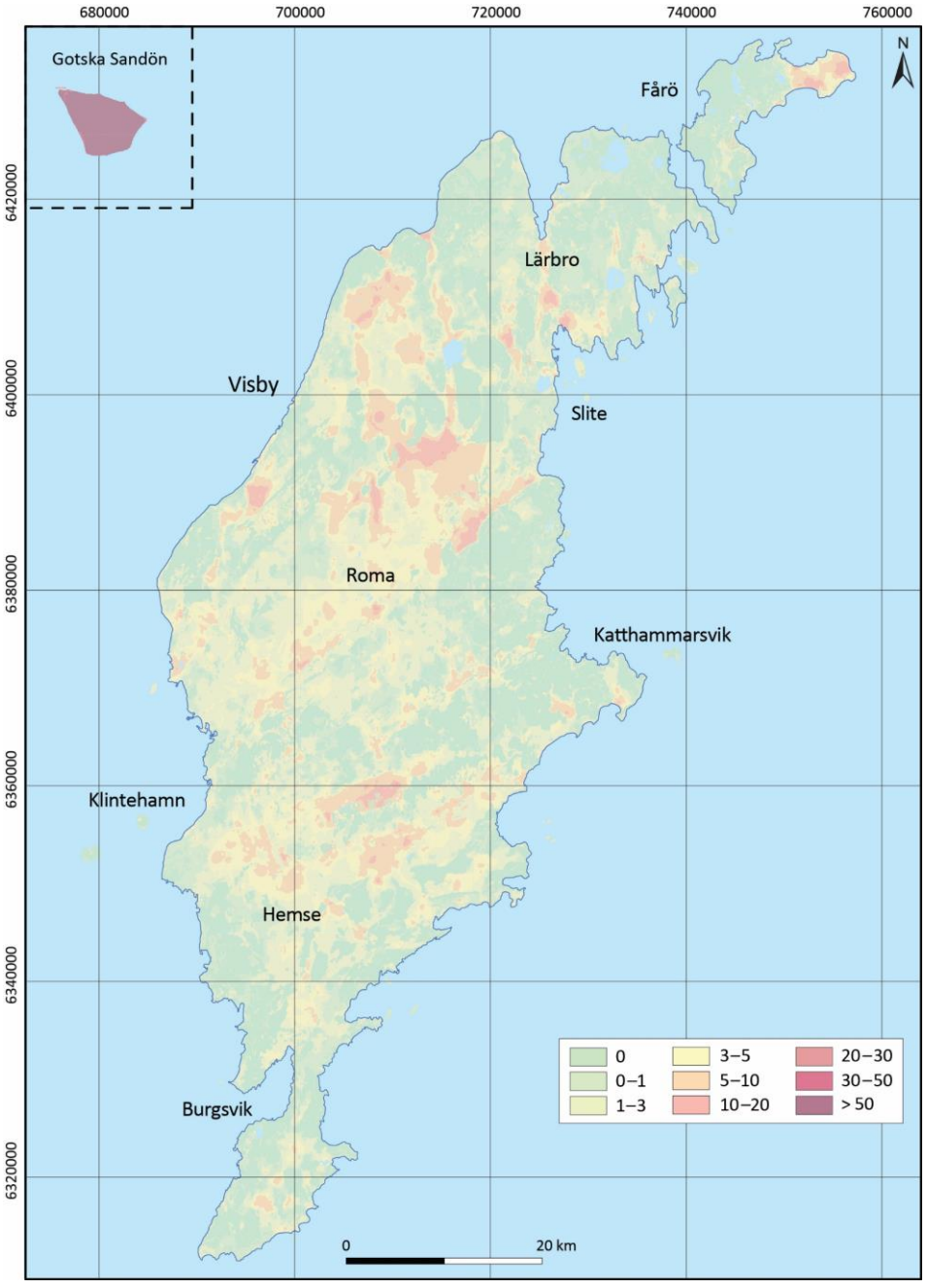
Gotlands jordartsgeologi och postglaciala utveckling presenteras i SGU:s kartblad och beskrivning till jordartskartan (fig. 5, Svantesson, 2005, 2008). Därtill finns äldre beskrivningar som till exempel Munthe (1910), Munthe m.fl. (1925), Lundqvist (1940) som många gånger ger en ingående platsspecifik beskrivning. Markgeokemisk data från moränprovtagning på Gotland finns att tillgå i Carlsson m.fl. (2020).

Jordlagrens mäktighet är sällan över 3 m, cirka 28 % av Gotlands yta saknar eller har endast ett tunt och osammanhängande jordtäcke (fig. 5). Störst mäktighet finns på Gotska Sandön där jordlagren är över 50 m mäktiga. På själva Gotland är de mäktigaste jordlagren knutna till områden med sand- och grusavlagringar och kan ställvis vara upp mot 20 m mäktiga (fig. 6). Cirka 18 % av arealen utgörs av berg i dagen.



Figur 5. Jordartskarta över Gotland samt Gotska Sandön.

De jordartsgeologiska förhållandena på Gotland är starkt knutna till Östersjön och dess utveckling efter den senaste istiden. När området i slutet av senaste istiden blev isfritt (cirka 14 000–13 000 år sedan, Påsse & Daniels 2015) låg ön under baltiska issjöns yta och har sedan successivt höjt sig upp ur Östersjön. Landskapet på ön har därmed formats av kustprocesser och vågornas påverkan som omlagrat, sorterat och omformat de primära jordavlagringarna. Jordarter bildade genom strandprocesser har därför en stor utbredning på Gotland, och svallade sandiga sediment har en framträdande roll i landskapet (sandavlagringar utgör ytlig geologi på cirka 26 % av Gotlands yta, fig. 5). Den enda större kvarvarande isälvsavlagringen på Gotland är Tingstädeåsen som återfinns norr om Tingstäde träsk. Avsaknaden av markanta isälvsavlagringar är en konsekvens av att det skett en omfattande omlagring av jordarterna. De isälvsavlagringar som tidigare funnits har successivt bearbetats av vågor och omlagrats och påträffas nu som svallgrus, svallsand och sanddynsområde (fig. 5).

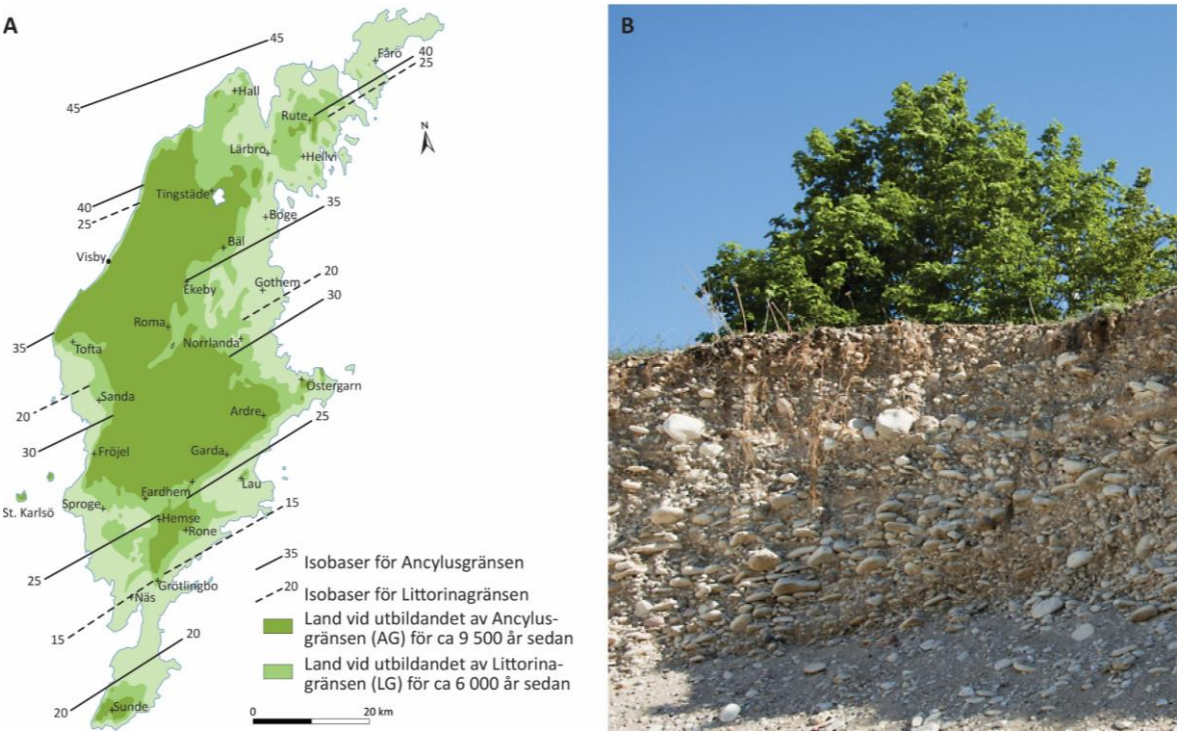


Figur 6. Jorddjupskarta över Gotland samt Gotska Sandön. Siffror på jorddjup i meter (m).

De strandvallar som finns på Gotland har undantagslöst bearbetats av vågor under olika havs- och sjöstadier (fig. 7). Stora områden domineras därför av relativt tunna (oftast mindre än 5 m) avlagringar av sand och grus i stället för stora mäktiga åsar. Strandvallarna visar var kusten gick under Ancylussjön (ca 9 500 år sedan) respektive Littorinasjön (ca 6 000 år sedan, fig. 7). Strandvallarna ligger något högre i nordväst och lägre i sydost vilket beror på landhöjningen. I samband med de transgressioner (relativa havsnivån stiger) och regressioner (relativa havsnivån sänks) som inträffat under östersjöstadierna Ancylussjön och Litorina-havet har landområden på Gotland växlat mellan att vara täckta av hav och att vara land.

Trots vågornas kraftiga bearbetning av landskapet är morän den vanligast förekommande jordarten på Gotland (cirka 36 %, fig. 5). Vanligen är moränen finkornig med hög lerhalt, vilket beror på att berggrunden i stora områden utgörs av märgel och märgelsten (fig. 2) som är relativt mjuka och lerrika sedimentära bergarter. Områden med morän påträffas främst i de centrala delarna av ön (fig. 5).

Ytterligare en konsekvens av det utsatta läget i Östersjön är att sedimentationsförhållandena mestadels bestått av högenergimiljöer och att finkorniga sediment som lera och silt förekommer sparsamt på Gotland (fig. 5). De flesta torvmarkerna på Gotland är idag utdikade för att kunna användas som jordbruksmark. Utdikning och uppodling har gjort att marken i flera av dessa områden sjunkit med flera decimeter. På grund av de kalkrika förhållandena utgörs torven i huvudsak av agtorv. I anslutning till större torvmarker förekommer områden med kalkrika sjösediment i form av bleke och kalkgyttja (fig. 5). I vissa torvområden finns även underlagrande sand som kan vara vattenmättad. Vittringsjord förekommer relativt spritt på Gotland. Dessa bildas genom kemisk och mekanisk vittring av berggrunden. Vanligast är lerig vittringsjord som utgör dominerande jordart inom ytor med tunna jordlager (fig. 6). Jordarten vittringsjord är ofta moränlik.



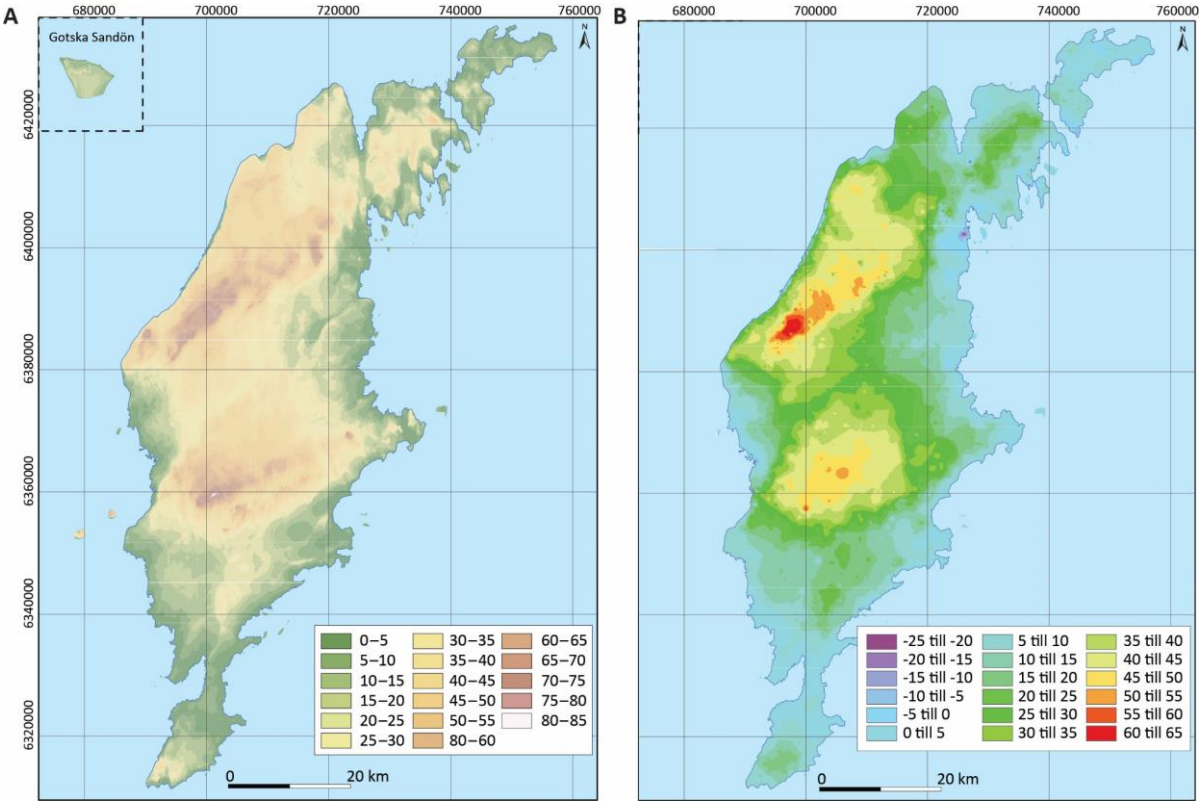
Figur 7. A. Karta över Gotland med lägen för större strandvallar. Ancylussjöns och Littorinahavets största utbredning på Gotland. **B**. Foto på strandvall vid Ammunde, sydöstra Gotland. Foto: Magdalena Thorsbrink.

GRUNDVATTNETS FÖREKOMST PÅ GOTLAND

På Gotland förekommer grundvatten i jordlagren men framför allt i den sedimentära berggrunden. Grundvattnets förekomst och transport i de gotländska jord- och bergarterna styrs till stor del av den heterogena geologin, men även av topografin (fig. 8A). Grundvattnets rörelseriktning är beroende av skillnad i grundvattennivå och tryckgradient, och rör sig från högre belägna terrängavsnitt (inströmningsområden) mot lägre (utströmningsområden). Grundvattennivåns läge beror av lokaliseringen i terrängen, geologin samt rådande väder och årstidsväxling. I likhet med ytvattnet har grundvattnet på Gotland i regel en strömningsriktning ut mot havet men transporten i grundvattnet sker betydligt långsammare.

En stor del av det grundvatten som bildas på ön lämnar också grundvattenzonen och avvattnas ut i våtmarker, sjöar och vattendrag innan det till slut når havet (fig. 9). För att åskådliggöra grundvattnets regionala nivå i landskapet visas en interpolering av uppgifter på grundvattenytans nivå i berggrunden (fig. 8B).

Dataunderlaget som använts kommer från Brunnsarkivet och är insamlade under en tidsperiod på ett antal decennier och under olika årstider och ofta i anslutning till borrning. Det är därför viktigt att komma ihåg att interpoleringen (fig. 8B) återspeglar en grovt generaliserad bild över grundvattnets huvudsakliga strömningsriktning från högre nivåer ner till havsnivån och kartbilden skall därför inte användas för att studera grundvattennivån i en specifik punkt. Områden där det kan förväntas större avvikelser är i anslutning till uttagspunkter, vid klintbranter, i anslutning



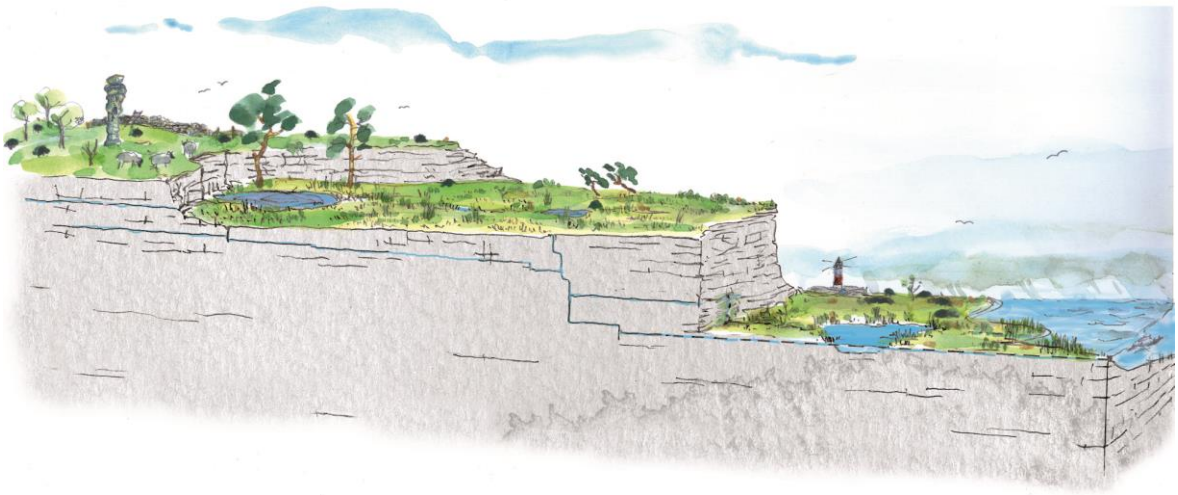
Figur 8. A. Höjdmodell Gotland (Lantmäteriet), siffror i meter (m). **B.** Karta över Gotland med interpolerad grundvattennivå (m. ö.h.). Data kommer från Brunnsarkivet och nivåerna är insamlade under en tidsperiod på ett antal decennier och under olika årstider men antas ändå spegla en ungefärlig grundvattennivå på regional skala.

till vattendrag och i anslutning till dränering. Observera att nivåerna ofta uppmätts i nära anslutning till borrning varför de ofta har varit påverkade. Vidare är det större osäkerhet i områden med färre brunnar och mindre data.

Jordlagren på Gotland är oftast av ringa mäktighet (oftast under 5 m, fig. 6). Det gör att grundvattnet i jordlagren oftast har kort uppehållstid och endast bildar mindre grundvatten-magasin, i vissa fall endast utnyttjningsbara under delar av året. I områden med större jorddjup har grundvattnets förekomst i jordlagren stor betydelse för grundvattenbildningen till berg-grunden. Den magasineringsförmåga som finns i jordlagren gör att det kan ske ett tillskott av grundvatten till berggrunden under en längre period än i områden som saknar eller har tunna jordlager.

I berggrunden förekommer grundvattnet primärt i sprickor och karst (fig. 9, fig. 10) och till en mindre del även i berggrundens porer. Mängden och utformningen av sprick- och karstsystem hänger ihop med bildningssätt av berggrunden, bergarternas lagring, berggrundens uppbyggnad samt uppsprickning och karstvittring. Grundvattnets förekomst och möjlighet att transporteras i berggrunden är därför ofta varierande i både vertikal och horisontell led, det vill säga att det råder heterogena och anisotropa hydrogeologiska förhållanden vilka är svåra att bedöma. För detaljerad information om karst på Gotland se Erlström m.fl. (2022).

De ytligaste delarna av berggrunden är ofta mer uppsprucken än det djupare liggande berget (fig. 9). Framför allt är det områden med stromatoporoide- och revkalksten som är mycket uppspruckna i ytan, medan områden med lagrad krinoidékalksten har betydligt mindre sprickighet och ännu lägre mängd vattenförande sprickor har områden med märgel och märgelsten (jämför fig. 2). Utredningar för till exempel kalkbrott, visar att stora delar av den nettonederbörd som bildar grundvatten omsätts i de övre skikten nära markytan för att sedan avbördas mot mer tät och opåverkad kalksten eller tät märgel (exempelvis vid Klintebys (Svea hovrätt M 13523-19). En mycket stor del av den totala grundvattenbildningen når därför inte de djup i berggrunden varifrån det är möjligt att exempelvis nyttja grundvattnet för vattenförsörjning.

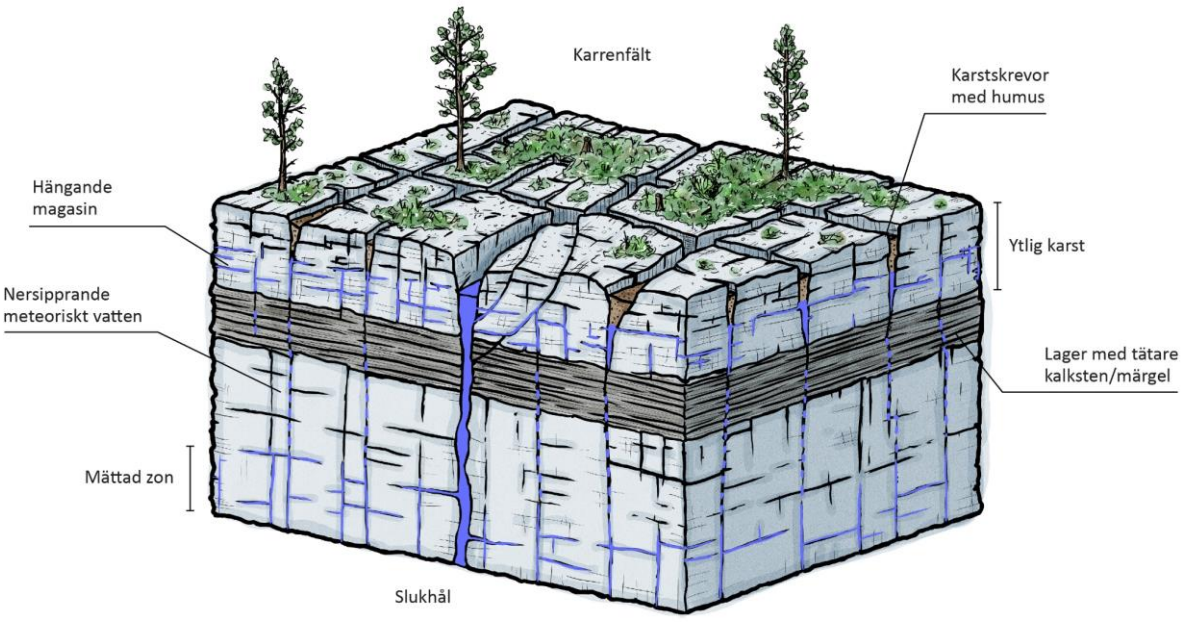


Figur 9. Schematisk bild av grundvattnets förekomst och transportvägar på Gotland. Illustration: ArtAnna.

Karstpåverkad berggrund har stor betydelse för grundvattenbildningen och de hydrologiska förhållandena. På Gotland finns ett antal kända och med största sannolikhet även många okända så kallade karstakviferer. I vissa fall kan det bildas så kallade hängande lokala magasin i områden med ytlig karst (fig. 10). Dessa fylls på snabbt vid nederbörd och dräneras genom att vatten långsamt sipprar ner till den mättade zonen via sprickor. Man kan säga att den ytliga karsten därmed bidrar till bildandet av tillfälliga ytliga vattenmagasin i den vanligtvis omättade zonen. Karstskrevorna är ofta (okulärt) mindre än en meter djupa och det vatten som ansamlas i skrevorna kan även länkas av utmed lagringplan mot underliggande lager med mindre karst-benägen kalksten eller märgelsten. Detta kan skapa utsipprande vatten i sänkor i intilliggande terräng vilket ger förutsättningar för källor och vätar (fig. 9). På Gotland baserades förr i tiden stora delar av Visbys vattenförsörjning på källor vars vatten ofta kom ifrån ett karstpåverkat tillrinningsområde (Bergström 1987).

Markens förmåga att släppa igenom vatten uttrycks i många fall som hydraulisk konduktivitet, K (m/s). Den bestäms av den sammanlagda effekten av de vattenförande sprickor som finns i en bergvolym eller jordlager. I de fall vattenförsörjningen baseras på vatten från berggrunden, som ofta är fallet på Gotland, så har K i berggrunden en stor betydelse för möjligheten att ta ut vatten.

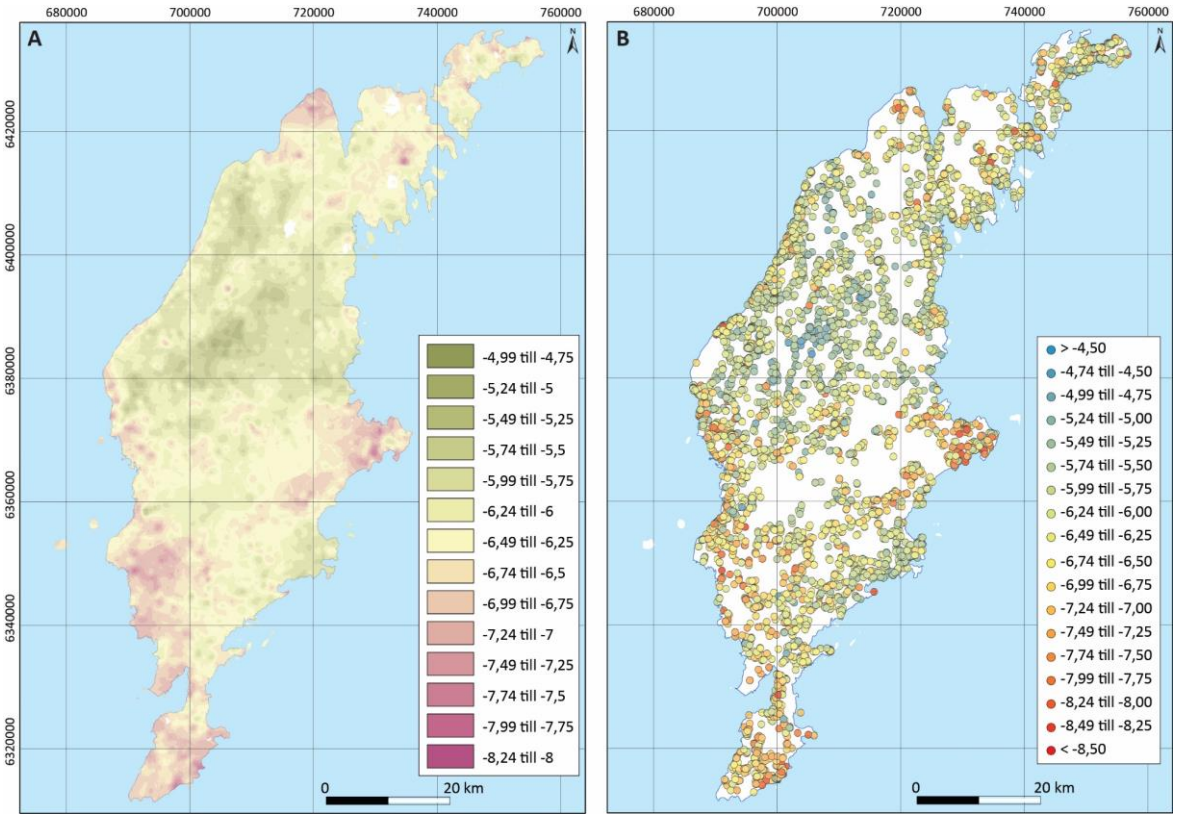
Det kan vara en betydande skillnad avseende hydrauliska egenskaper för en bergart beroende på om de betraktas med avseende på bergartens interna struktur och egenskaper eller om det avser den miljö som domineras av bergarten i fråga. I det senare fallet kan det också bli betydelsefullt med bergartskontakter, grundvattennivå, överlagrande jord, med mera. Eftersom de data som oftast finns att tillgå för att beskriva hydrauliska egenskaper kommer från tester i brunnar bedöms data spegla den hydrauliska miljön i området snarare än bergartens interna egenskaper. Resultat och diskussioner fortsättningsvis i denna rapport speglar därför i huvudsak den hydrauliska miljön för ett område snarare än respektive bergarts interna struktur och egenskaper.



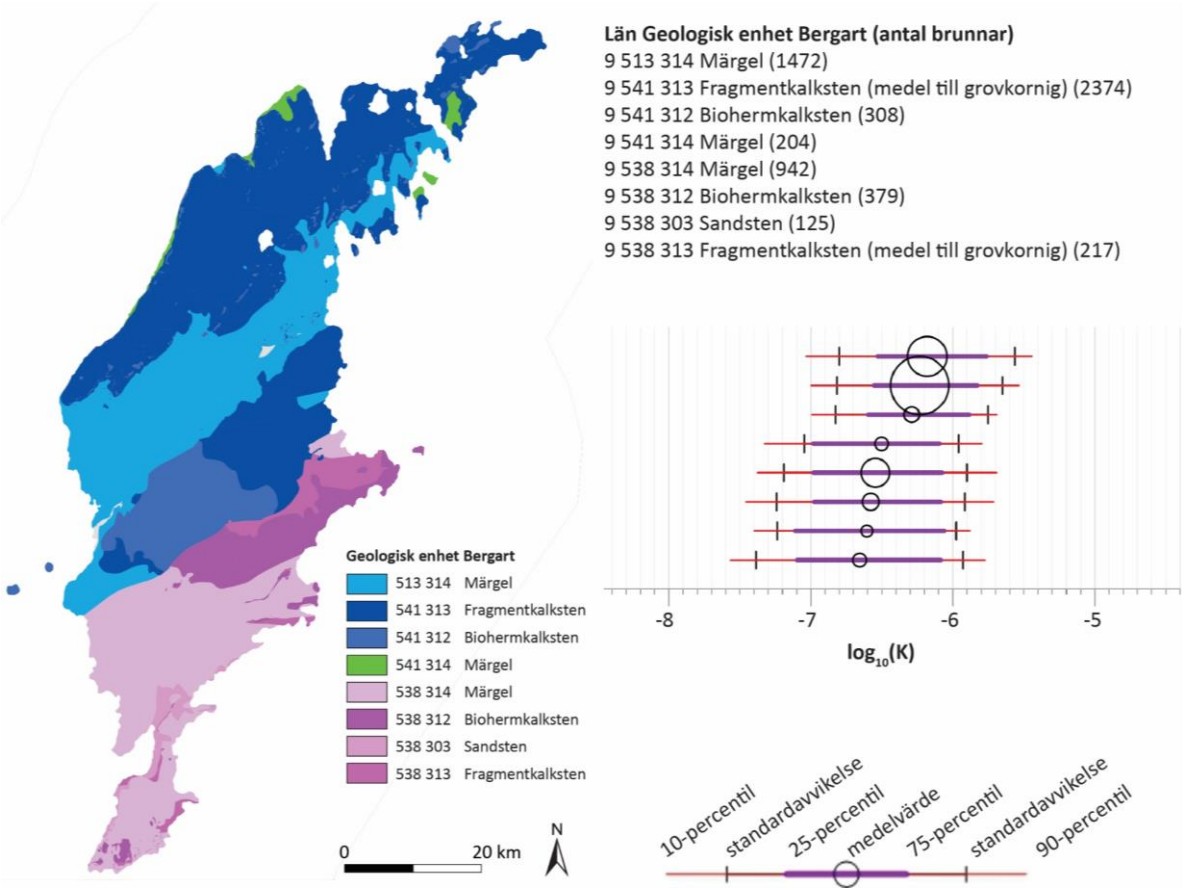
Figur 10. Schematisk illustration av hydrogeologiska förhållanden kopplade till karsthällmarker med ytlig karst (karstskrevor, slukhål och karrenfält) på Gotland. Från Erlström m.fl. 2022, illustration: Daniel Sopher.

Under 2020 utförde SGU en studie med målet att producera en karta som visar den hydrauliska konduktiviteten i svensk berggrund. Beräkningarna utgick ifrån uppgifter i SGU:s Brunnsarkiv och det samband för beräkning av transmissivitet som tagits fram av Ryd (2017). Från Brunnsarkivet nyttjades resultaten från den enklare kapacitetsbestämning som utförs i samband med brunnsborrningen, uppgifter om brunnens utformning och grundvattennivå. Utförda beräkningar, gjorda antaganden och resulterande kartbilder finns redovisade i Hjerne m.fl. (2021b). Resultatet finns också tillgängligt som en kartvisare via SGU:s websida och som en WMS-tjänst. Den framtagna kartan över hydraulisk konduktivitet (fig. 11) utgör ett av de underlag som nyttjas för beräkning av grundvattentillgång i små magasin (Hjerne m.fl. 2021a).

I studien av hydraulisk konduktivitet ingick uppgifter från totalt 6 021 bergborrade brunnar för Gotland, både vattenbrunnar och energibrunnar, som analyserades med avseende på bergart och geologisk enhet enligt SGU:s kartdatabas. Det innebär att brunnarna klassificerats enligt den ytligaste förekommande bergarten och inte eventuella kombinationer med underlagrande bergarter. Resultat av denna analys visas i figur 11 och figur 12. Analysen visade överlag att den hydrauliska konduktiviteten är högre på norra delen av ön (med geologiska enheter 513 och 541) och lägre på södra delen (med geologiska enheten 538). Däremot uppvisade kalksten överlag inte en högre hydraulisk konduktivitet än märgel, vilket kan bero på att andra faktorer än bergartens interna struktur påverkar den hydrauliska konduktiviteten i borrhålet.



Figur 11. Beräknad hydraulisk konduktivitet i berg på Gotland. **A.** Kartan visar interpolerade värden baserade på de brunnar som redovisas i **B.** (K-värden: m/s, log10K, Hjerne m.fl. 2021). Notera att de högsta värdena (högre genomsläpplighet och bättre förutsättningar för grundvattenuttag) är de med grön färgton och de lägsta värdena (sämre förutsättningar) de med röd färgton.



Figur 12. Indelning av geologiska enheter och bergarter som använts i analys av hydraulisk konduktivitet i berg. Medelvärde, percentiler och standardavvikelse för $\log_{10}K$ i olika geologiska enheter och bergarter på Gotland. Cirkelns storlek indikerar antalet brunnar i respektive grupp.

Med utgångspunkt i ovan beskrivna översiktliga hydrogeologiska förutsättningar och var vattenbrunnar i regel finns på ön (fig. 11), kan Gotlands geologi kategoriseras bestå av ett antal geologiska typmiljöer med avseende på möjligheterna till uttag av grundvatten. I de följande avsnitten beskrivs de karakteristiska dragen hos olika typmiljöer som bedöms vara av betydelse för vattenförsörjningen på ön. Därutöver kan vattenuttag vara aktuella även i andra geologiska typmiljöer såsom direkt ur morän, ifall denna är tillräckligt genomsläpplig, men då är uttagsmöjligheterna oftast mindre. De sex beskrivna typmiljöerna är:

- Kalksten
- Märgel och märgelsten
- Gränszon mellan kalksten och märgel/märgelsten
- Kalksten med överlagrande sand- och grusavlagringar
- Större sand- och grusavlagringar
- Sandsten

Kalksten

Många av de enskilda brunnarna och ett flertal av de allmänna vattentäkterna på Gotland nyttjar vatten från kalkstenen. Brunnen kan emellertid vara borrad genom flera bergartstyper och på så vis få vatten från såväl kalksten som märgel. Därtill är eventuell vattenmättad zon i överlagrande jordlager av stor betydelse för vattentillgången. Den hydrauliska konduktiviteten (K) för kalksten är vanligen låg i den gotländska berggrunden. Som jämförelse kan kalksten i Skåne nämnas, där K är mer än en tiopotens högre i medel. Beräkningar baserat på kapacitetstester av dricksvatten-brunnar inom kalkstenområdena på Gotland ger ofta K i storleksordningen 10^{-6}–10^{-7} m/s (fig. 11–12, Hjerne m.fl. 2021b). Den totala por-sprickvolymen (kinematisk porositet) har uppskattats att generellt vara 0,01–0,05 % men i områden med karst kan den vara 0,1–0,3 % (SGU 2005). I karstpåverkad berggrund råder heterogena och anisotropa hydrogeologiska förhållanden vilka är svåra att bedöma. För mer information se avsnitt *Gotlands berggrund* i denna rapport eller Erlström m.fl. 2022.

Kalkstenen på Gotland kan hydrogeologiskt sett delas in i områden med generellt bättre förutsättningar i form av revkalksten och i anslutning till dessa lagrad krinoidékalksten, samt fragmentkalksten som oftast är finkornigare och har en lägre porositet (fig. 2, fig. 13). Typiska värden på transmissiviteten är för dessa ytliga delar av krinoidékalkstens-/revkalkstensområdena bedöms ligga i intervallet 10^{-6}–10^{-4} m^2/s (SGU 1977, Golder, 2010). Den lagrade kalkstensberggrunden har i undersökningar visat sig vara väsentligt tätare med typiska värden på transmissiviteten i intervallet 10^{-8}–$10^{-7}m^2/s$ (SGU, 1977, Golder, 2010). Undersökningar och praktiska erfarenheter från borrningar och grundvattentäkter visar att randområden till revdominerade kalkstensområden (File Hajdar, Hejnum Hällar, Bungeberget, Fole, Lojsta) ofta är mer genomsläppliga och grundvattenförande. Anledningen bedöms bero på förekomst av rev i lagrad kalksten, där revens massa pressat ner och skapat böjningarna av de lagrade enheterna vilket gynnat uppkomsten av sprickor och därmed sprickporositet. Företeelsen finns i alltifrån liten skala med enstaka revkroppar till större sammanhängande områden och är även vanlig i kontakten mot underliggande märgel (se avsnitt *Märgel och Märgelsten*).

Figur 13. Kalksten från Sudret. Notera skillnaden i lagrad kalksten inom brottväggen. Foto: Peter Dahlqvist.

Märgel och märgelsten

Märgel (relativt mjuk) och märgelsten (hård) är bergarter som i huvudsak är uppbyggda av ungefär lika delar lermineral och karbonat. En stor mängd enskilda brunnar återfinns i märgel. På grund av dominansen av lerpartiklar är märgel och märgelsten i sin primära uppbyggnad en tät bergart, en så kallad akvitard, det vill säga en bergart som är svårgenomsläpplig för vatten. Sekundär påverkan i form av ojämn kompaktion från ovanliggande kalkstensberggrund kan skapa sprickor och en ökad porositet, framför allt i de partier som ligger närmast bergrundsövergången. I områden med mäktiga märgellager agerar dessa huvudsakligen som hydrauliska konduktorer, det vill säga grundvattnet transporteras i gränszonen mellan kalksten och märgel (se avsnitt *Gränszon mellan kalksten och märgel/märgelsten*).

Inom märgel och märgelstensenheter finns även inlagrade kalkstensbankar som skapar en heterogen uppbyggnad. Grundvattentransporten är ofta knuten till tunna lateralt uthålliga skikt som kan binda samman vertikala sprickor i berggrunden (Golder Associates, 2021, fig. 14). I praktiken kan detta leda till att brunnar som i huvudsak är borrade i märgel ändå kan ha en relativt god hydraulisk konduktivitet (fig. 12).

Beräkningar baserade på kapacitetstester av dricksvattenbrunnar inom märgelområden på Gotland ger ofta K i samma storleksordning för områden med kalksten (fig. 11–12, Hjerne m.fl. 2021b). Det är dock rimligt att brunnarna med högre K från denna undersökning i många fall kan vara påverkade av kalksten som ligger under märgeln.

Områden där berggrunden domineras av märgel och märgelsten har ofta ett större jorddjup (fig. 6) vilket beror på att bergarten är mjukare och mer benägen att vittra och eroderas. Det större jorddjupet gör det mer sannolikt att de ytligare delarna av berggrunden, som ofta är mer uppspruckna, är vattenfyllda och därmed bidrar till en förhöjd grundvattentillgång.

Figur 14. Visbymärgel med växellagrande sekvens med märgelsten och lerig kalksten vid kustskärning i Lickershamn. I bakgrunden syns rauken Jungfrun (Högklintlager), Gotlands högsta rauk, överlagra. Notera punktläckage av grundvatten som skapar förutsättning för växtlighet längs skärningen. Foto: Peter Dahlqvist

Gränszon mellan kalksten och märgel/märgelsten

I flera fall finns dokumentation som visar att det i övergången mellan märgel/märgelsten och överlagrande eller intilliggande kalkstensenheter finns gynnsamma förutsättningar för grundvattentransport. Detta har konstaterats bland annat vid undersökningar i Follingbo, (Tullström, 1953, VIAK AB ,1953), på Hejnum Hällar (Hessland, 1962), och vid File Hajdar (Golder 2020). Den primära anledningen är att märgel/märgelsten är relativt tätare än kalksten vilket gör att det grundvatten som kommer från ovanliggande kalksten inte kan tränga ner genom den leriga märgeln utan att övergångszonen fungerar som en hydraulisk konduktor, längs vilken grundvatten enklare transporteras. En annan orsak till ökad vattenföring är förekomst av revkroppar i kalksten, vars massa pressat ner och skapat böjningarna av lagrade kalkstensenheter och märgelsten (fig. 15) vilket skapar sprickor och ökad porositet.

Ett exempel är den lagergräns som går mellan den märgeldominerade Hallaformationen och den överliggande Klintebergsformationen. Gränsen syns tydligt i resistivitetsdata (Dahlqvist m.fl. 2017) och en provborrning som utfördes av SGU visade på möjlig uttagskapacitet på 18 000 l/tim strax söder om Gothem. Denna zon ligger på ett fördelaktigt djup (20–40 m) inom stora delar av centrala Gotland (söder om bergartsgränsen märgel-kalksten i fig. 2, från Gothem och sydväst via Suderbys, Skogs ner till Fröjel, se avsnitt *Roma–Gothem*).

I randzonen mellan kalksten- och märgelområde mellan Tofta i sydväst och Fårösund i nordost samt mellan Lojsta och Ljugarn finns en hög förekomst av större revkroppar (fig. 2) vilket kan skapa bättre förutsättningar för ökad porositet och därmed uttagskapacitet lokalt i dessa områden.

Figur 15. Revkropp överlagrande märgel, som genom sin tyngd skapat förutsättning för sprickbildning i gränszonen mellan revkroppen och den omgivande märgeln. Foto: Peter Dahlqvist.

Kalksten och märgel med överlagrande sand- och grusavlagringar

Stora delar av den nederbörd som faller i områden med grovkorniga jordlager infiltrerar och blir till grundvatten (se mer detaljerad information i avsnitt om *Större sand- och grusavlagringar*). Öns många strandvallar (fig. 7) har i vissa delar därför en viktig betydelse för grundvattentillgången. Det beror bland annat på att de genom sitt grova material medger en stor grundvattenbildning samt att de verkar som betydelsefulla utjämningsmagasin för vattentillgången i den underlagrande berggrunden. Tillskottet av grundvatten från strandvallarna ner till berggrunden kan ske hela eller delar av året beroende på tryckgradienter och geologiska förhållanden samt terrängläge. Flera av svallsandsavlagringarna används även för infiltration av enskilt avlopp vilket kan göra dessa platser mindre attraktiva ur dricksvattensynvinkel.

Hur god kontakten med den underliggande berggrunden är beror oftast av om strandvallens sand och grus underlagras av morän eller inte (fig. 16). I stora delar är den underliggande moränen mycket torr och tät på Gotland vilket betyder att det är mycket liten kontakt i de delar som underlagras av morän. På till exempel Fårö (Dahlqvist m.fl. 2021), vid Vamlingbo och Hablingbo (fig. 16) finns dock lagerföljdsinformation eller tecken på att sand- och grusavlagringarna har direktkontakt med berggrunden och i dessa områden är kontakten mycket god vilket skapar ökad uttagsmöjlighet i berggrunden. På vissa platser till exempel vid Langs Hage finns det lagerföljds-information i brunnsarkivet som visar på tät underlagrande morän under de upp till 15 m mäktiga sandavlagringarna. Ändå kan man anta att grundvattenbildningen från jordlagren bidrar till grundvattenmagasinet i berg även om det inte sker lokalt överallt.

Figur 16. Exempelbild på strandvall och svallsandsavlagringar som i vissa delar vilar på tät morän och i vissa fall direkt på kalkstenberggrunden. Illustration: ArtAnna.

Större sand- och grusavlagringar

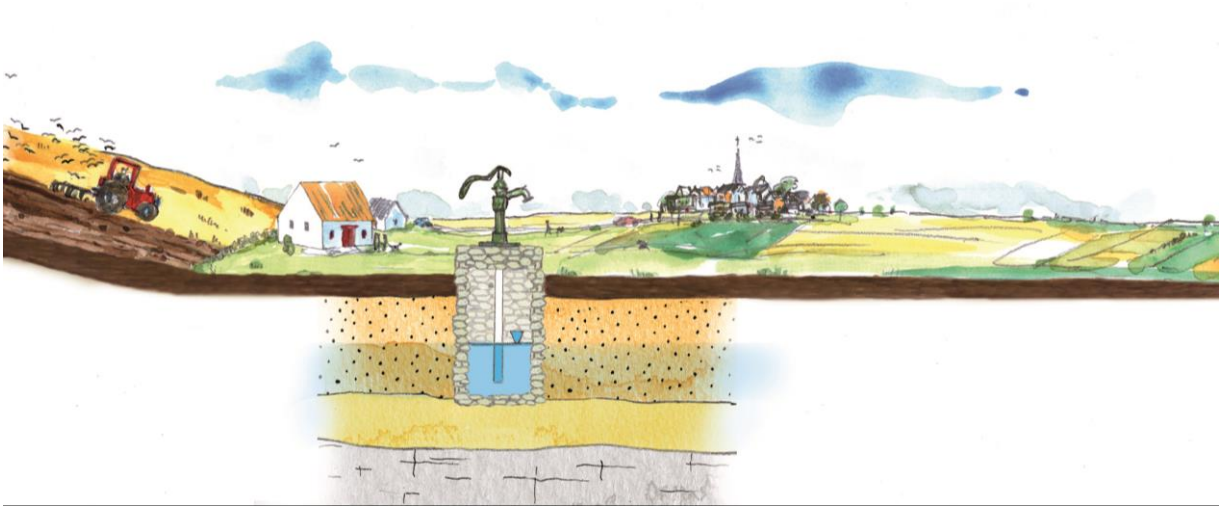
I anslutning till vissa sand- och grusavlagringar, kan ett uttag av grundvatten ske direkt ur jordlagren. Det kräver att det finns en tillräckligt stor vattenmättad zon i jordlagren som också är stabil och tillräckligt mäktig året om. Eftersom jordtäckena på Gotland ofta är tunna (fig. 6), samtidigt som genomsläppligheten i dessa jordarter är stor, är dessa möjligheter dock relativt begränsade och i stället görs vattenuttag i regel från berggrunden.

I de områden där jordmäktigheterna är större, och i de fall det finns lager med mindre genomsläppliga jordarter som underlagrar sanden, är chansen större att det finns en tillräckligt stor mättad zon i jordlagren som kan medge vattenuttag. Exempel där brunnar nyttjar grundvatten från jordlagren är inom Stångamalmen (Dahlqvist m.fl. 2020, se avsnitt *Hemse-Stånga*) samt på Ulla Hau (Dahlqvist m.fl. 2021, se avsnitt *Fårö*). Även svallsands-avlagringarna i söder vid Vamlingbo används för relativt stora grundvattenuttag (se avsnitt *Storsudret*). Det finns även mäktiga sand- och grusavlagringar som delvis är torra och inte används för grundvattenuttag, exempelvis Tingstädeåsen och Langs Hage (se avsnitt *Hangvar–Othem* respektive *Visby*).

Utöver områden där sand- och grus ses direkt i dagen, det vill säga där de också framgår av SGU:s jordartskarta (fig. 5), kan det i vissa områden också finns lager med svallsand under torven så som det framgår i illustrationen i fig. 17. Dessa lager, kan beroende på utbredning och topografi, ge goda uttagsmöjligheter lokalt. Exempel på områden med denna hydrogeologiska miljö är vid Mörby och Martebo myr.

Det finns även områden med mäktiga komplexa jordlagerföljder som till exempel vid Lärbro och Åminne, där täta jordlager och genomsläppliga sandlager återfinns om vartannat och där uttagsmöjlighet ur sandavsnitten kan vara goda (se avsnitt *Lärbro–Fårösund* respektive *Roma–Gothem*).

Strandvallarna på Gotland är i nästan samtliga fall av otillräcklig mäktighet eller uthållighet vilket gör att uttagsmöjlighet ur dem inte är så stor. Dock kan enskilda brunnar anläggas i strandvallarna i gynnsamma lägen. Vissa strandvallar och dess grundvattenhållande förmåga är av vikt för naturtyper. I anslutning till strandvallar sker ett relativt kontinuerligt utläckage som skapar möjligheter för dessa arter, bland annat vid Natura 2000 området Bälsalvret.



Figur 17. Figuren visar vattenförande svallsandskikt som underlagrar torv. I dessa miljöer kan relativt stora grundvattenuttag göras i jordlagren. Illustration: ArtAnna.

Sandsten

Sandsten finns i begränsad utbredning på södra Gotland (behandlas närmare i avsnitt *Storsudret*). Framför allt är det Burgsviksandstenen som finns från Grötlingbo ner till Hoburgen (fig. 2) som är tillräckligt mäktig och permeabel för att diskutera. Enheten är inte en homogen sandsten med stor sammanhängande porositet utan sandstenssekvenserna avbryts av ler- och siltstenslager med mäktigheter från några centimeter till flera meter (fig. 18). Ler- och siltsekvenser som dominerar i vissa delar av lagerföljden, trots formationens namn, är svårgenomsläppliga för grundvatten. Dessa partier försämrar kontakten mellan de sandigare partierna och därmed minskar även den totala grundvattenbildningen och uttagsmöjligheterna. Burgsviksandstenens uppbyggnad varierar även lateralt på Storsudret med mer eller mindre mängd mäktighet av sandstensinnehåll. Störst andel sand finns på nordvästra Sudret (vid Burgsvik) med avtagande inslag mot sydost (Erlström m.fl. 2022).

Enligt resultaten i Hjerne m.fl. 2021b är den hydrauliska konduktiviteten vid brunnar som ansatts i sandsten relativt låg i jämförelse med andra sandstensakviferer i Sverige (fig. 11–12). SGU utförde ett antal porositetstest på Burgsviksandstenen och den sandiga delen hade en total porositet på cirka 17 % i medel och en permeabilitet på strax över 60 mD (miliDarcy, Erlström m.fl. 2022). Porositeten är tillräckligt hög för att utgöra en god akvifer men permeabiliteten motsvarar siltiga jordlager. Högst permeabilitet (över 100 mD) hade de översta delarna av Burgsviksandstenen, vilket pekar mot att man vid borrning ner i Burgsviksandstenen bör få bäst resultat i de övre delarna och knappast kan förvänta sig en kapacitetsökning med djupet.

Då stora delar av Burgsviksandstenens lagerföljd tolkas ligga under den nivå där det är troligt att det är ett saltpåverkat grundvatten (se figur 67 i Dahlqvist m.fl. 2017a) är risken relativt stor att man får på sig saltpåverkat grundvatten om man borrar för djupt.

Figur 18. Burgsviksandsten vid Kettelviken, överst i fotot syns den sandstensdominerade delen och underliggande del består av lersten med tunna silt- och sandstenslager. Foto: Peter Dahlqvist.

INDELNINGSGRUNDER FÖR GRUNDVATTEN

Det finns flera olika sätt och termer som kan användas för att beskriva grundvattnets förekomst och mängd. I de följande avsnitten beskrivs mer ingående de två begreppen grundvattenmagasin och vattenförekomst inom vattenförvaltningen.

Grundvattenmagasin

Det grundvatten som fyller porer och sprickor i marken kan beskrivas som grundvattnet i ett grundvattenmagasin. Med grundvattenmagasin avses enligt SGU:s definition en hydrauliskt avgränsad enhet i en eller flera geologiska formationer som medger utbyte av grundvatten. Avgränsningarna utgörs av fasta eller rörliga grundvattendelare samt positiva eller negativa hydrauliska gränser. I grundvattenmagasinet kan vattnet förekomma endera i sprickor eller i porer vilka sinsemellan är sammanbundna så att vatten kan tillföras, lagras, röra sig i och lämna magasinet antingen via en lågpunkt, till exempel en källa, genom grundvattenuttag i brunnar eller genom läckage till angränsande grundvattenmagasin eller ytvatten.

Inom SGU:s grundvattenkartering avgränsas främst grundvattenmagasin i jordlagren. I jordlagren avgränsas grundvattenmagasin huvudsakligen i områden med större grundvattentillgångar som till exempel i isälvsavlagringar. I berggrunden däremot, avgränsas i regel inga grundvattenmagasin av SGU, förutom i områden med sedimentär berggrund som har en god vattengenomsläpplighet och som fungerar som större sammanhängande hydrauliska enheter. Ett exempel på detta är inom Kristiandsstadslätten där det bedöms finnas god hydraulisk kontakt inom hela sedimentära berggrundenheter över stora arealer.

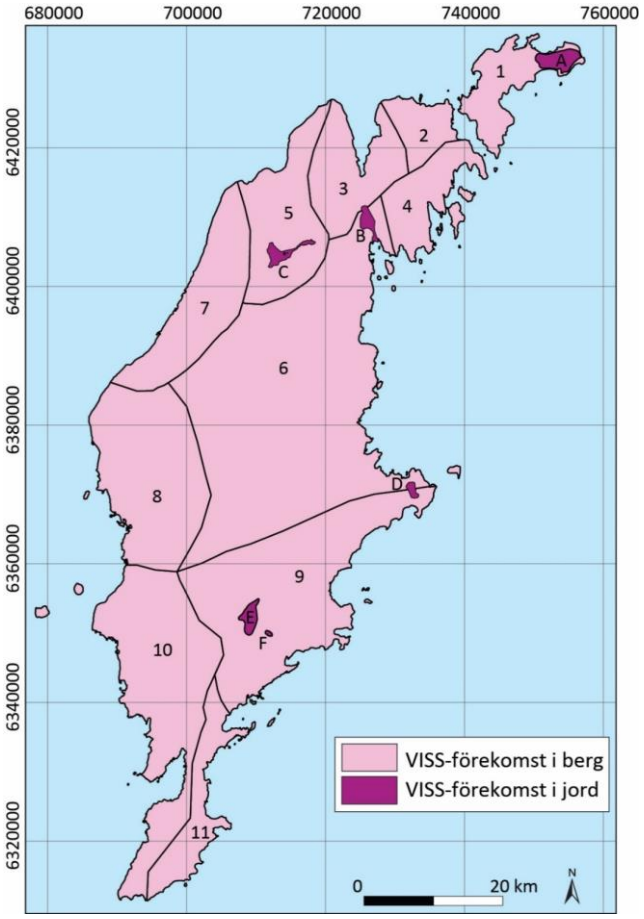
Jämfört med förhållandena inom Kristianstadslätten, är den magasinerande förmågan och vattengenomsläppligheten i berggrunden på Gotland betydligt mindre. I områden med gotländska förhållanden är det därför betydligt svårare att avgränsa grundvattenmagasin, i alla fall på samma indelningsgrunder som i mer vattenförande jordavlagringar och i områden med mer vattenförande sedimentär berggrund. I Gotlands berggrund uppstår hydrauliska gränser såväl beroende på topografi och förekomst av vattenförande sprickzoner som på vilka vattenuttag som görs. Det gör att de hydrauliska gränserna inte är statiska samtidigt som de hydrauliska sambanden inom en berggrundsenhet i regel är avståndsmässigt begränsade till följd av den sämre genomsläppligheten (fig. 9). På grund av dessa förhållanden har SGU valt att inte göra någon magasinsindelning inom berggrunden på Gotland. I jordlagren finns ett antal avgränsade grundvattenmagasin i områden med mäktiga sand- och grusavlagringar och relativt god tillgång på grundvatten.

För att beskriva de grundvattenförhållanden och egenskaper som råder beroende på de naturgivna förutsättningarna, använder SGU indelningen snabbreagerande (”små”) respektive långsamreagerande (”stora”) grundvattenmagasin. I områden med snabbreagerande förhållanden, vilket motsvarar de förhållanden som råder i större delen av Gotlands sedimentära berggrund, föreligger en kort responstid och en stor årlig nivåamplitud på grundvattennivåerna. I område med långsamreagerande förhållanden råder omvänt en lång responstid och en liten nivåamplitud under året. Detta innebär att de snabbreagerande grundvattenmagasinen påverkas snabbare av en förändrad grundvattenbildning till följd av förändrade hydrologiska förhållanden jämfört med de långsamreagerande, där förändringen märks först efter en längre tid och först när förändringen är tillräckligt stor. För mer ingående förklaring se avsnitt *Grundvattenbildning*.

Grundvattenförekomster inom vattenförvaltningen

Enligt vattenförvaltningsförordningen är en grundvattenförekomst, den minsta enheten för beskrivning och bedömning av grundvatten. Grundvattenförekomsterna på Gotland kan utgöra grundvattnet i ett eller flera grundvattenmagasin. Grundvattnet inom en grundvattenförekomst i berg kan därför inte behandlas som en isolerad enhet utan de lokala förutsättningarna i anslutning till den aktuella platsen kan behöva beaktas, oaktat en förekomstgräns, vid till exempel miljöprövningar om vattenverksamhet.

En grundvattenförekomst omfattas av beslutade miljökvalitetsnormer rörande grundvattnets kvantitativa och kvalitativa status och grundregeln inom vattenförvaltningsarbetet är att statusen inte får försämras. Hela den ytnära sedimentära berggrunden på Gotland utgör avgränsade grundvattenförekomster (Länsstyrelsen 2020). Därutöver finns ett fåtal förekomster även utpekade i jordlagren. I figur 19 framgår gällande avgränsningar för grundvattenförekomster och i tabell 1 ses en förteckning över dessa med namn och ID-beteckning. Notera att gränserna kan ändras i kommande vattenförvaltningscykler, bland annat baserat på gränsdragningar i denna rapport.



Tabell 1. Namn och ID-beteckning för gällande grundvattenförekomster i vattenförvaltningen

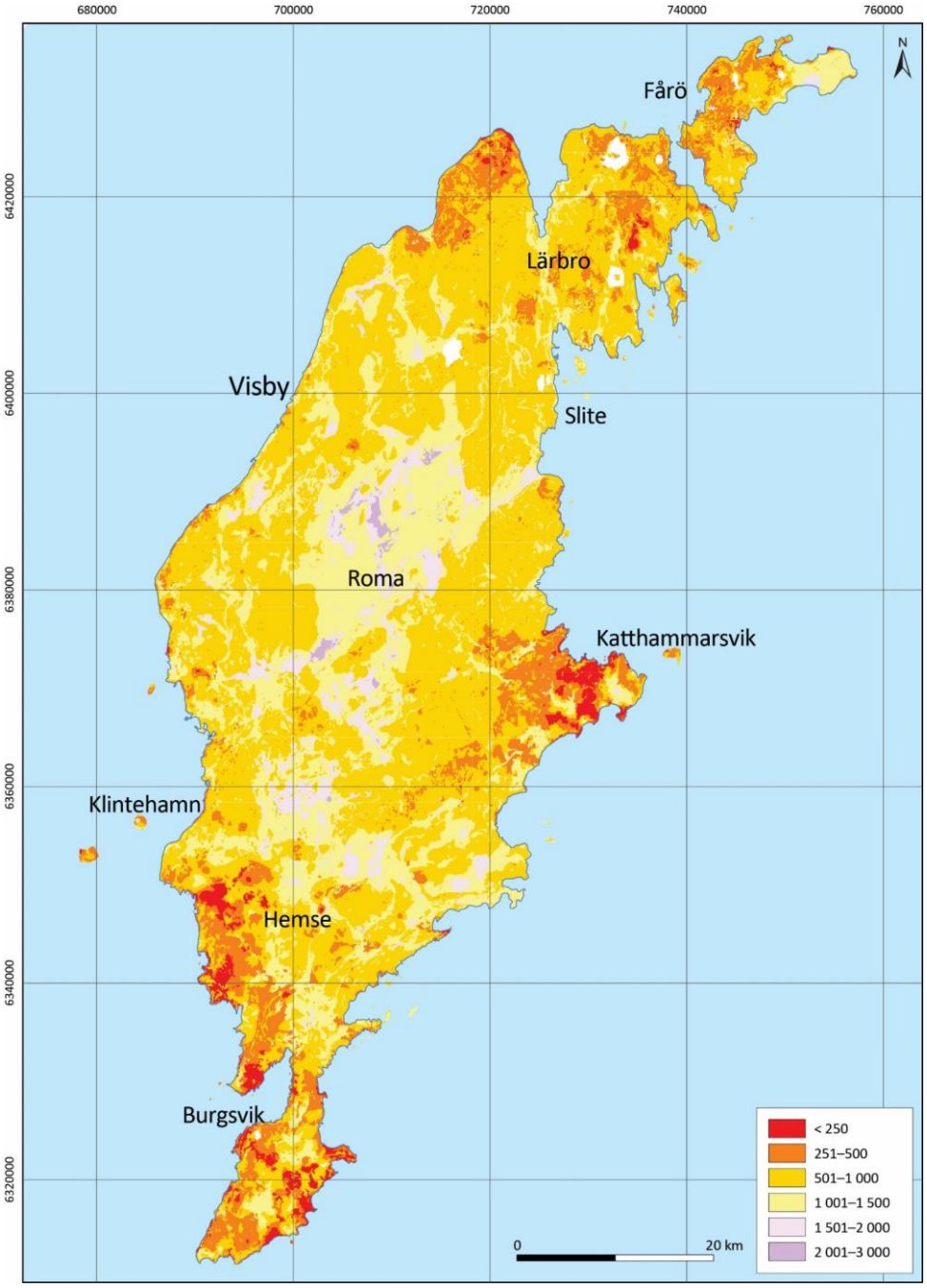
Nr	Förekomster jordlagren	ID-beteckning grundvattenförekomst
A	Avanäs	SE643253-752537
B	Lärbro	SE640933-726069
C	Tingstädeåsen	SE640538-715810
D	Östergarn	SE637068-732429
E	Stånga	SE635205-166067
F	Burs	SE634995-711836

Nr	Förekomster berggrunden	ID-beteckning grundvattenförekomst
1	Fårö	SE642849-169893
2	NG – Fleringe	SE642230-168611
3	NG – Kappelshamn	SE641632-167611
4	NG – Rute	SE641229-168696
5	NG – Stenkyrka	SE640915-166638
6	MG – Roma	SE638285-166696
7	MG – Visby	SE639767-165410
8	MG – Klintehamn	SE637298-164664
9	SÖG – Ljugarn	SE635572-166581
10	SVG – Havdhem	SE634178-164753
11	SÖG – Grötlingbo	SE632538-165259

Figur 19. Gällande grundvattenförekomster i vattenförvaltningen. Notera att avgränsningarna kan ändras i kommande vattenförvaltningscykler. NG = Norra Gotland, MG = Mellersta Gotland, SÖG = Sydöstra Gotland, SVG = Sydvästra Gotland.

BEDÖMNING AV GRUNDVATTENTILLGÅNG

Grundvattentillgången på Gotland beror främst av tre grundläggande parametrar. Dels de naturgivna förutsättningarna grundvattenbildning och markens magasineringsförmåga, dels möjligheten att anlägga en brunn med tillräcklig kapacitet, vilket också delvis är beroende av geologin och risk för bland annat saltvatteninträngning. För att beräkna grundvattentillgången i områden med små grundvattenmagasin, vilket motsvarar förutsättningarna på större delen av Gotland, har SGU nyligen tagit fram en rikstäckande beräkningsmodell som tar hänsyn till dessa tre förutsättningar (Hjerne m.fl. 2021a). Kartan presenterar grundvattentillgången i enheten liter/dygn/hektar (fig. 20) och utgår ifrån att uttaget av vatten sker i berggrunden vilket också är



Figur 20. Grundvatten-tillgången i enheten liter/dygn/hektar (för mer information se Hjerne m.fl. 2021b).

det vanligast förekommande inom öns både allmänna och enskilda vattenförsörjning. En beskrivning av grundvattnets förekomst och förutsättningar ges även via det informationsmaterial om grundvatten som Region Gotland (2016) har tagit fram.

Som ett komplement till bedömningen av grundvattentillgången i små magasin finns magasinsvisa bedömningar avgrundvattentillgången i jordlagren i ett fåtal områden på Gotland (Dahlqvist m.fl. 2020, 2021). I magasin i jordlager behöver man också beakta tillrinningsområdet till magasinet gärna kompletterat med provpumpning för att säkrare kunna bedöma grundvattentillgången. Dahlqvist m.fl. (2019) undersökte var på Gotland det finns goda förutsättningar för konstgjord grundvattenbildning.

Grundvattenbildning

Grundvatten är en del av vattnets kretslopp, där grundvattenbildning är den process som leder till påfyllnad av grundvattenmagasinen. Vatten tillförs landområden genom nederbörd i form av regn eller snö. Av nederbörden avgår en viss del till atmosfären på grund av avdunstning (både direkt och via växternas transpiration) och inom de flesta landområden (inströmningsområden) så kommer den resterande delen av nederbörden att infiltrera och lagras tillfälligt i marken som markvatten och grundvatten. Grundvattnet förser sedan vattendrag och sjöar med vatten i den process som kallas avrinning. De områden där mark- och grundvatten strömmar ut till vattendrag och sjöar kallas utströmningsområden. Till följd av att nederbörd, avdunstning och avrinning varierar över tid, så varierar även mängden lagrat grundvatten. Viktiga faktorer för bildning av nytt grundvatten är mängden nederbörd samt avdunstningens omfattning. Avdunstningen är i sin tur starkt sammankopplad med vegetation och markanvändning. Därutöver har även geologin en stor betydelse, och det särskilt på Gotland, eftersom det är viktigt att skilja på den grundvattenbildning som når de översta markskikten och den del av grundvattnet som når de djup eller magasin som till exempel kan nyttjas för vattenförsörjning. Den grundvattenbildning som skulle ske om hela det aktuella området skulle vara ett permanent inströmningsområde benämns ibland *potentiell grundvattenbildning*.

Ett extremt fall där grundvattenbildningen blir mindre än nettonederbörden är områden med tunna jordtäcken och kala berggrundshällar. Där uppstår det ibland mättade förhållanden i ytliga spricksystem vilket leder till en snabb ytavrinning. Detta gör så att nederbörden i stället för att bilda grundvatten rinner av på markytan.

Men även utan ytavrinning kan grundvattenbildningen till magasinet av intresse vara mindre än den potentiella grundvattenbildningen även i ett inströmningsområde. Ett exempel kan vara ett grundvattenmagasin i berg som överlagras av jord som normalt är omättad. Vid nederbördstillfällen kan det bildas grundvatten i jordlagren som inte flödar ner i berget överallt eftersom det endast är möjligt där det finns sprickor. Det bildas därmed ett tillfälligt, hängande grundvatten som slutligen kan avlänkas mot lågpunkt istället för att gå ner i berget även om området i stort är ett inströmningsområde. Detta vatten har definitionsmässigt varit grundvatten men trots detta inte nått magasinet av intresse.

Det samma kan hända om grundvattenytan normalt finns i jordlagren men det finns ett ytligt markskikt med högre hydraulisk konduktivitet än underliggande markskikt. Exempel på det kan vara sand eller grus ovanpå morän eller lera, eller ett ytligt lager med högre porositet och makroporer på grund av rötter etc. som underlagras av mer opåverkad jord. I dessa fall är det också rimligt att det tidvis kan uppstå hängande grundvatten som inte når magasinet av intresse. Vid perioder med höga grundvattennivåer finns det också möjligheter att det horisontella flödet i ett ytligt högkonduktivt lager till en lokal lågpunkt är mycket större än det vertikala vid perioder av grundvattenbildning vilket gör att en stor del av vattnet får en kort uppehållstid i marken även

om det definitionsmässigt har varit grundvatten. På grund av detta är det mycket viktigt att inte ansätta den potentiella grundvattenbildningen till ett magasin i en vattenbalansberäkning utan att noggrant väga in de geologiska och tidsmässiga förhållandena.

Grundvattenbildning kan bestämmas med flera olika metoder och i olika skala och tenderar att variera stort, speciellt över ett så heterogent och stort område som Gotland. Ett tidigare använt sätt är att grundvattenbildningen beräknades nationellt för Sverige med hjälp av hydrologiska modeller där den potentiella grundvattenbildningen beräknades utifrån data på nederbörd och temperatur samt geologi och markanvändning (Rodhe m.fl. 2006, Rodhe m.fl. 2008). Denna beräkning ger värden på 200–350 mm/år till jordlager på Gotland och är kalibrerad mot uppmätt avrinning i ytvattendrag.

En på senare tid, vid SGU utvecklad arbetsmetod, har skapat förutsättningar att löpande få rikstäckande värden för beräknad grundvattennivå. Denna metod utgör en vidareutveckling av SMHI:s vattenbalansberäkningar via S-HYPE. Denna tjänst redovisar beräknad fyllnadsgrad i 4 × 4 km och möjliggör att man kan få en bedömning av hur grundvattennivån vid den aktuella tidpunkten förhåller sig till tidigare nivåer på platsen (se karttjänster om grundvattennivåer på SGU:s webbplats). Från denna modellering är det också möjligt att få ut en beräknad grundvattenbildning. I grunden är denna beräkning snarlik den som presenterats av tidigare av Rodhe m.fl. (2006, 2008) men är kalibrerad mot uppmätta grundvattennivåer istället för uppmätt avrinning i ytvattendrag. När denna rapport togs fram fanns inga kvalitetssäkrade data tillgängliga för Gotland avseende grundvattenbildning från denna studie. Det är planerat att nya resultat från denna beräkning kommer att presenteras under 2023 för både nuvarande och framtida klimat.

Ett flertal uppskattningar och beräkningar har gjorts för nettonederbörd eller potentiell grundvattenbildning på regional skala för Gotland. Spännvidden är från 15 mm/år (Sweco 2016) till fall där man ansett att grundvattenbildningen till berg är lika stor som nettonederbörden i området. Ett exempel är vid ansökan för materialtäkt vid Klintebys (Svea Hovrätt M 13523-19). Här har man resonerat kring att det sker en nästan hundraprocentig avrinning av nettonederbörden via det ytliga grundvattnet, i bergplintens ytliga karst, ner till ytvattenavrinning i dalen nedanför. Bidragande orsaker till den snabba grundvattenavrinningen har varit lutningen ner från bergplinten samt att den karstifierade berggrunden underlagras av tät märgel.

På samma sätt som vädret varierar från år till år så varierar även grundvattenbildningen mellan åren. Vid bedömning av en långsiktig grundvattentillgång, det vill säga hur stora uttag som är hållbara, är det därför viktigt att även ta hänsyn till hur grundvattenbildning ser ut vid torrår, speciellt för områden som inte har möjlighet att lagra mycket grundvatten, vilket ofta är fallet för grundvattenmagasin i berg.

För grundvattentillgången, i synnerhet i små magasin, är också grundvattenbildningens variation och fördelning över året av stor vikt, och under delar av året så sker ingen grundvattenbildning. På Gotland är det ofta en längre period under sommarhalvåret då det inte sker någon (betydande) grundvattenbildning. Den sammanfaller tyvärr med perioden när behoven av vatten ofta är som störst, både från naturen och människan.

Magasineringsförmåga

Markens förmåga att lagra ett uttagbart grundvatten kan beskrivas som markens magasineringsförmåga. Den beror både av geologin och grundvattennivån. Förenklat sett är magasineringsförmågan i jordlagren i regel betydligt större än i berggrunden eftersom porvolym och genomsläpplighet där är större. För vattentillgången vid uttag i berg är det därför av stor betydelse om det finns en vattenmättad zon i ovanliggande jordlager eller inte.

Beräkningsmodell för grundvattentillgång i små grundvattenmagasin

Den beräkningsmodell som ligger bakom SGU:s bedömning av grundvattentillgång i små grundvattenmagasin utgår ifrån på SGU:s redan befintliga underlag och redovisar grundvattentillgången med utgångspunkt från de styrande faktorerna; grundvattenbildning till berg, magasineringsförmåga, torrperiod och en brunns uttagskapacitet (Hjerne m.fl. 2021a).

Beräkningarna har utförts i flera steg och bygger på en mängd olika underlagsdata och antaganden. Dessa finns beskrivna i SGU:s rapport *Grundvattentillgång i små grundvattenmagasin* (Hjerne m.fl. 2021a). I beräkningarna utgår man från torrår, det vill säga liten grundvattenbildning och lång torrperiod eftersom man även ett sådant år måste ha tillförlitlig vattenförsörjning. Även beräkningarna i övrigt kan betraktas som konservativa så att grundvattentillgången inte överskattas. Resultaten är dock ingen garanterad grundvattentillgång utan det kan mycket möjligt finnas platser med en lägre grundvattentillgång än redovisat. Observera att resultatet endast gäller små grundvattenmagasin, vilket innebär att det inte är representativt för större sand- och grusavlagringar. En faktor som inte är med i beräkningen och som lokalt kan ha stor betydelse på Gotland är förekomst av karst.

Överlag är områdena med sämst grundvattentillgång associerade med berg med relativt låg hydraulisk konduktivitet och tunna jordtäcken medan större jordmäktigheter som regel resulterar i en större grundvattentillgång. På Gotland tyder resultaten på att den magasinerande förmågan är den mest begränsande faktorn i områden med liten grundvattentillgång medan grundvattenbildningen är begränsande i många andra områden. Observera att detta endast gäller under torrår, varför den magasinerande förmågan kan vara den begränsande faktorn i större delar under mer normala år.

Beräkningsmodellen för små magasin visar endast på en generell bild av grundvattentillgången. Det innebär att i områden där det gjorts mer ingående undersökningar, till exempel för en vattentäktsutredning, ger resultaten av undersökningarna troligtvis en mycket mer relevant bedömning av grundvattentillgången än SGU:s generella beräkningsmodell för små magasin.

Grundvattentillgång i ett förändrat klimat

Klimatförändringarna som pågår kommer att påverka grundvattenbildningen och därmed grundvattentillgången i Sverige (Hjerne m.fl. 2021a, Vikberg m.fl. 2015, Rodhe m.fl. 2009). På Gotland där grundvattentillgången påverkas av sommartorka är det rimligt att en längre växtsäsong kommer att medföra längre torrperioder, det vill säga perioder då det inte sker någon grundvattenbildning. Detta kommer till exempel påverka de redan mest utsatta områdena på Gotland som till exempel Sudret, Fårö och Östergarnslandet där magasineringsförmågan i berg är låg. Även när det gäller områden som begränsas av grundvattenbildning till berg kommer klimatförändringar troligen att påverka mängden tillgängligt grundvatten men hur mycket är svårt att fastslå. För närvarande (2022) pågår arbete på SGU med att modellera potentiell grundvattenbildning och torrperiod som inte är slutfört än varför det i dagsläget inte finns detaljerad resultat tillgängligt.

Det finns både teoretiska GIS-undersökningar av så kallad *Managed Aquifer Recharge,* vilket kan översättas till förstärkt grundvattenbildning, på Gotland (Dahlqvist m.fl. 2017, 2019) och studier av reglerbara dämmen och undermarksbevattning (LRF 2019) samt projekt som avser att öka mängden våtmarker och höja grundvattennivåer (LRF 2021) som kan bidra med att minska effekterna av en längre torrperiod i framtiden.

BESKRIVNING AV GRUNDVATTENTILLGÅNGAR

I detta avsnitt har Gotland delats in i tio större områden (fig. 21, tabell 2) som beskrivs var för sig. Indelningen beaktar geografiskt läge, topografi, geologi, vattentillgång (med strävan att hålla sammanhängande områden med större grundvattentillgång inom samma delområde), större vattentäktsområden (samma vattentäktsområde ska helst inte hamna inom två olika områden) och till viss mån även den beräknade regionala grundvattennivån (fig. 8B). Rapportens indelning skiljer sig därmed från vattenförekomsternas nuvarande utbredning (fig. 19) som utgått ifrån bedömd grundvattenströmning baserat på en äldre karta över grundvattennivåer. Grundvattentillgångarna i berg slutar och börjar inte vid en områdesgräns enligt figur 21 utan ett visst utbyte sker mellan områdena. I många fall refereras det till specifika utredningar för delar av områdena, till exempel vattentäktsutredningar. Observera att de ofta utförts på en plats som indikerat på en god grundvattentillgång varför resultat från dessa utredningar inte nödvändigtvis kan appliceras generellt till andra delar av områdena. En viss upprepning av vissa geologiska och hydrogeologiska företeelser finns i beskrivningen av respektive område då varje avsnitt ska kunna stå för sig själv som en beskrivning av hydrogeologin inom det området.

Figur 21. Karta med de områden som diskuteras i denna rapport.

Tabell 2. Områden som beskrivs i detta avsnitt och dess respektive area.

Områdesnamn	Area km²
Fårö	114
Lärbro–Fårösund	256
Hangvar–Othem	320
Visby	214
Roma–Gothem	827
Östergarnslandet	129
Tofta–Klintehamn	356
Ljugarn–Stånga	417
Ekста–Havdhem	358
Storsudret	136

Fårö

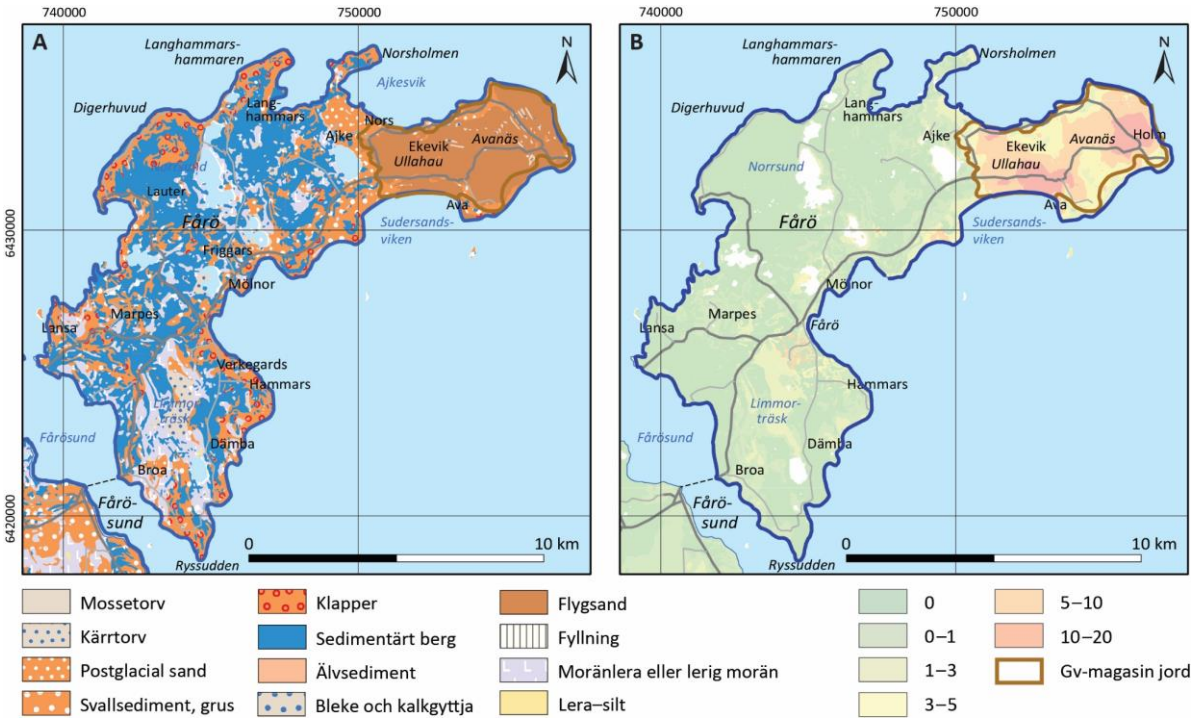
Terrängläge och geologisk översikt

Fårö (114 km^2) är separerad från den gotländska huvudön av Fårösund vilket gör att även hydrogeologin är avskild. Området motsvarar grundvattenförekomsten Fårö som är en sedimentär bergförekomst, och på östra Fårö finns även en grundvattenförekomst Ulla Hau i sand- och grusavlagringar (fig. 21, fig. 19, Dahlqvist m.fl. 2021).

Området är kargt och till stora delar av öppen karaktär. Merparten av markytan på Fårö ligger under 10 m. ö.h. och det längsta avståndet till närmsta kust är cirka 2,5 kilometer. De högst liggande områdena består av hällmark och sanddyner medan de lägre liggande stråken domineras av sjöar. Markanvändningen på Fårö domineras av skog, betesmark, små uppodlade områden och stora områden med relativt opåverkad natur.

De västra delarna av Fårö, från Fårösund till Ajkesträsk, har en mosaikartad karaktär vad gäller jordarter (fig. 22A) och i huvudsak inget eller endast ett tunt jordtäcke (fig. 22B). Mellan områdena med häll består jordtäcket av omväxlande sandiga svallsediment och morän med torv i anslutning till sjöar och lågpunkter. Mäktigheten på jordlagren är liten, oftast mindre än 3 m förutom i de östra delarna på Avanäs (fig. 22B).

Östra Fårö domineras av mäktiga, i huvudsak sandiga, jordlager. Här på Avanäs finns Sveriges största sanddynsområde med sanddyner som höjer sig 15 m över omgivningen. Jorddjupet varierar mellan 0–20 m men stora delar har mer än 10 m mäktiga jordlager (fig. 22B) och består mestadels av sand och grus. I vissa områden finns inslag av torv i sanden (fig. 22A) vilket kan försämra grundvattenbildningen och grundvattenkvalitet något. En del av de kustnära jordlagren ligger under havsnivån, framför allt rör det mäktiga jordlager vid Sudersand och Holm (fig. 22B).



Figur 22. A. Jordartskarta över *Fårö*. **B.** Jorddjupskarta över *Fårö*.

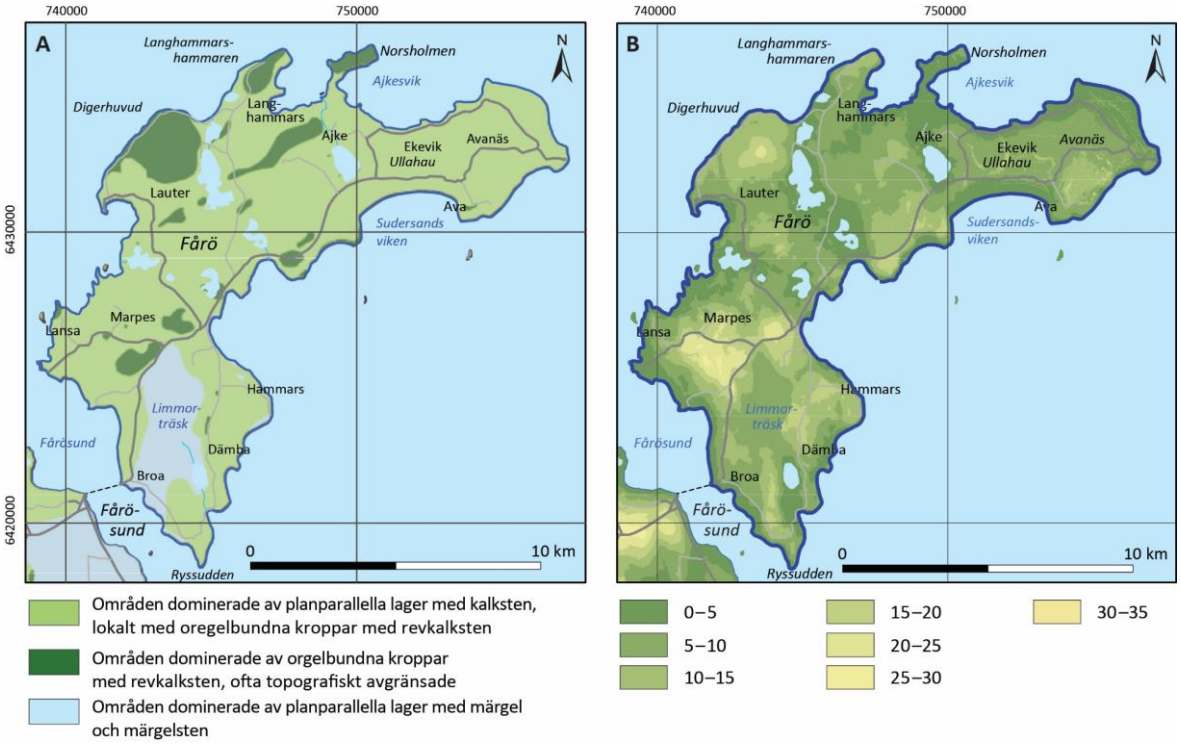
Berggrunden uppvisar en homogen och uthållig lagring vilket ger plana ytformer i landskapet på Fårö. Ytberggrunden består till stora delar av lagrad kalksten (kalkarenit och kalcilutit) med inslag av mer oregelbundet lagrad stromatoporoidékalksten (fig. 23A). Revkalksten återfinns framför allt i de nordvästra delarna av Fårö, medan det i de sydvästra delarna av Fårö finns inslag av märgel i ytlagren (fig. 23A). De dominerande sprickriktningarna på Fårö är nordväst–sydost (290–320°) och nordost–sydväst (20–40°). Flera av de sjöar som finns på Fårö ligger i dessa riktningar och är troligtvis lokaliserade till sprickzoner. På djupet övergår kalkstenen gradvis till märgel och märgelsten.

Karstvittring och förekomst av karstsystem är inte dokumenterat på många ställen på Fårö (Erlström m.fl. 2009). Längs Fårös norra kust finns ett flertal större raukområden vid Gamle Hamn, Digerhuvud och Langhammars-hammaren (fig. 23A).

Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivåerna på Fårö ligger ofta på ett djup mindre än 5 m under markytan och nära havets nivå (fig. 8B). Berggrundens generella stupning (0,2–0,4 °; Erlström m.fl. 2009) mot sydost gör att grundvatten som rör sig längs bergartsgränser, som t.ex. gränsen mellan ovanliggande kalksten (Slitegruppen) och underliggande märgelsten (Visbylager) troligen har en komponent mot sydost, det vill säga grundvattenströmningen i de djupare liggande berglagren kan antas vara från nordväst mot sydost. Det är osäkert om det finns några större grundvattendelare i berggrunden. Eventuellt kan det finnas lokala grundvattendelare vid bergartsskiftningar och vid större sprickzoner.

På Fårö förekommer det risk för saltpåverkat grundvatten i stort sett överallt. Nära kusten är riskerna stora för att man drar in vatten från havet, men det finns även ett saltpåverkat relikt grundvatten under hela ön. Ett antal försök har gjorts för att kartlägga områden med risk för samt nivån för saltpåverkat grundvatten på Fårö (Tullström 1954b, Dahlqvist m.fl. 2015).



Figur 23. A. Berggrundskarta över *Fårö*. **B.** Höjddata över *Fårö*.

Den generella bilden är att de berglager där allt grundvatten är salt följer den gängse stupningen och ligger närmre markytan i nordväst och djupare mot sydost. Det finns dock relikt saltvatten lokalt över denna nivå. Grundvattennivåerna är ofta under 5 m ö.h. (fig. 8B) och det finns områden där det råder artesiskt tryck vissa månader.

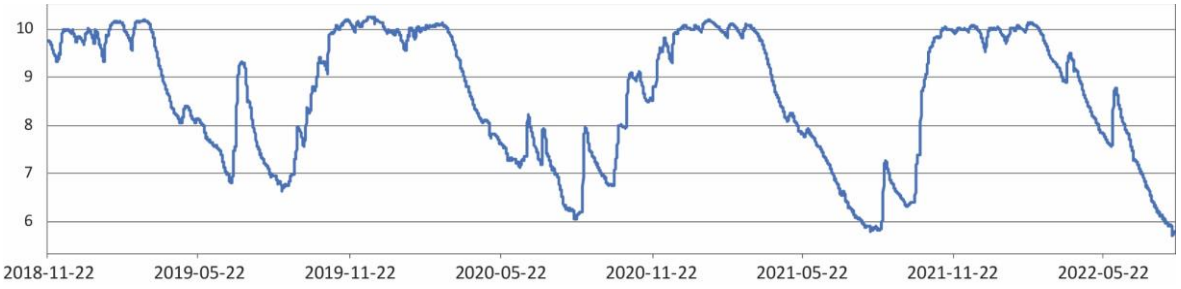
Överlag är jorddjupen på Fårö små, undantaget är östra Fårö vid Avanäs (fig. 22B) där mäktiga, sandiga sediment skapar goda förutsättningar för grundvattenbildning, magasinering och grundvattenuttag. I de mäktiga jordlagren finns grundvattenmagasinet Ulla Hau som är en öppen akvifer med en medelmäktighet på cirka 5–10 m. Delar av magasinets volym ligger under havsnivån vilket gör att det finns risk för saltvatteninträngning. Inslag av torv (fig. 22A) kan försämra grundvattenbildningen och grundvattnets kvalité något. Grundvattennivån inom grundvattenmagasinet Avanäs bedöms variera mellan 2–10 m ö.h. och den vattenmättade zonen bedöms ha en mäktighet på 1–12 m beroende på topografin. Den omättade zonen kan vara upp mot 10 m. Grundvatten-magasinet är beskrivet i Dahlqvist m.fl. (2021). En viss kontakt kan finnas mellan grundvattenmagasinen i jord och berggrunden.

Nivåmätningar i en bergborra vid Fårö Hammars visar på såväl snabb påfyllning av magasinet på hösten som snabb sänkning av nivåerna på våren men även att det faktiskt sker en påfyllning vid enskilda större sommarregn (fig. 24).

Uttagsmöjligheter

Bedömningen av uttagsmöjligheten ur grundvattenmagasin varierar stort på Fårö. De östra delarna vid Avanäs har en betydligt bättre grundvattentillgång (1 000–1 500 l/dygn/ha) än resterande del av Fårö (250–1 000 l/dygn/ha, fig. 25). Grundvattentillgången under torrår begränsas troligen i de södra och östra delarna av Fårö av grundvattenbildningen till berg, men i de nordvästra delarna från Fårösund till Ekeviken är det troligen flera olika faktorer som är begränsande (fig. 25). Teoretiskt utgör svaghetszoner en ökad möjlighet för grundvattenbildning till magasinen i berggrunden. I flera fall förekommer sjöar i svaghetszonerna, men då mycket av bottensedimenten består av kalkrik lera och bleke så är det osäkert hur mycket vatten som infiltrerar och blir till grundvatten här. Det finns ett antal mindre områden i anslutning till sjöar som är utpekade som möjligen bättre ur ett uttagssyfte i Dahlqvist m.fl. (2015).

Nivåmätningar i och provpumpningar av borrhål i berggrunden på östra Fårö visar på en tydlig koppling mellan grundvattennivåer och havsnivån (Sweco 2018a). Det grundvatten som är sötvatten ligger som en kudde på det salta grundvattnet vilket gör att uttag som är för stora eller om brunnarna är för djupa riskerar att dra saltpåverkat grundvatten uppåt. Uttagsmöjligheten ur grundvattenmagasinen på Fårö är därmed kopplad till den grundvattenbildning som skett nyligen (månader, eventuellt år). Lagringsförmågan är begränsad då grundvattenmagasinen på Fårö är små och avgränsas av Östersjön åt alla håll.

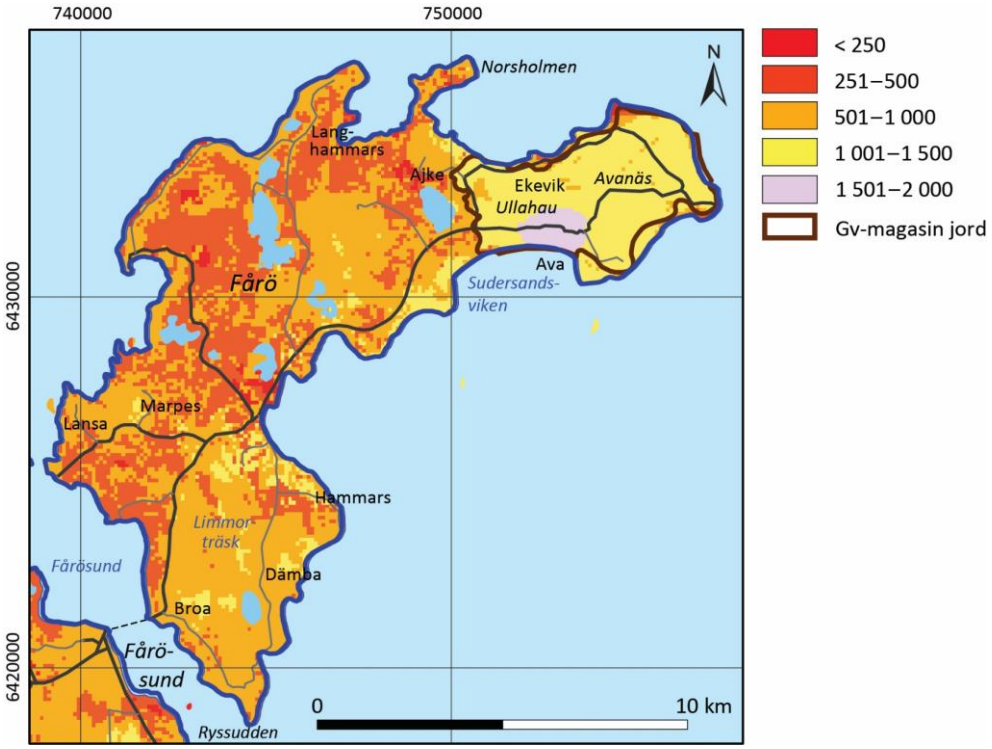


Figur 24. Grundvattennivåer, i nivå m över havet, SGU:s mätstation Fårö_Hammars, 2018-11-22 till 2022-08-17.

Bedömning av uttagskapaciteten i berg torde vara något säkrare i de södra delarna då de geologiska lagren stupar åt detta håll vilket gör att en viss grundvattenströmningen sker från nordväst mot sydost, samtidigt som både mäktigheten på grundvattenmagasinet och djupet till det salta grundvattnet är större här (Thulin Olander 2015). Sämst uttagsmöjligheter i berggrunden torde omvänt vara i de nordliga delarna där den mättade zonen är mindre mäktig och närheten till salt grundvatten är större. I Dahlqvist m.fl. (2015) pekas området vid Lansa, norra Fårösund, ut som ett område med sämre tillgång på grundvatten, dessutom med stor risk för saltpåverkan.

Grundvattenbildningen på västra och centrala Fårö är generellt låg medan den är högre i de östra delarna på Avanäs där sand- och grusavlagringar är både uthålliga och mäktiga (fig. 22). Grundvattenmagasinen i såväl jordlager som i berggrunden är av begränsad storlek vilket gör att grundvattenmagasinen här är känsliga för långa tider utan påfyllning och därmed också av större eller mer långvariga grundvattenuttag.

De bästa förutsättningarna för större grundvattenuttag ur grundvattenmagasin i jordlagren finns på Avanäs i grundvattenmagasinet Ulla Hau (Dahlqvist m.fl. 2021, Sweco 2020). Undantaget den mest kustnära zonen kan man betrakta hela den sandavlagring som finns på Avanäs som ett inströmningsområde för både grundvattenförekomst i jord och berg på östra Fårö. Avsaknaden av diken gör dessutom att i princip 100 % av den teoretiska grundvattenbildningen är möjlig på Avanäs. Uppskattning av Dahlqvist m.fl. (2021) är att grundvattenbildningen är cirka 150 mm/år till sand- och grusavlagringar på Fårö, vilket ger cirka 90 l/s till grundvattenmagasinet Ulla Hau. Den totala arealen på avlagringen är inte så stor och transporten mot kusten och havet går troligen relativt snabbt.



Figur 25. Karta över Grundvattentillgång i små magasin på *Fårö*, uttryckt som liter/dygn/ha.

Den verkliga uttagsmöjligheten får dock anses vara lägre, delvis eftersom stora delar av magasinet ligger under havsnivån vilket gör det riskfyllt att göra större grundvattenuttag på grund av risken för saltpåverkat grundvatten. Uppskattningsvis går det att göra uttag på max 50 % av den naturliga grundvattenbildningen vilket motsvarar cirka 30–40 l/s (Dahlqvist m.fl. 2021) från brunnar i jordlagren vilket med Gotlandsmått får anses vara mycket. Det ska dock förtydligas att detta värde ska ses som ett årsintervall och det troliga är att det under perioder med lite nederbörd kommer vara svårt att göra så stora uttag medan när grundvattenmagasinet är välfyllt (oftast vintertid, och efter stora nederbördsmängder) kan göras betydligt större momentana uttag. Grundvattenkemiska data från brunnar på östra Fårö redovisas i Dahlqvist m.fl. (2021) och Sweco (2020).

Anslutande ytvatten

På Fårö finns ett antal grunda sjöar, bildade på grund av den relativa landhöjningen. Sjöarna har en huvudsaklig utbredning i nordsydlig riktning och är troligen lokaliserade i områden med svaghetszoner i berggrunden. Ett antal småbäckar finns på Fårö, de största är utloppsbäckarna från de träsk som finns på ön. I huvudsak är dessa dränerande och bidrar under normala förhållanden inte med vatten till grundvattenmagasinen. Dessa bäckar är grunda och rinner i princip direkt på berggrundsöverytan och flera av dem är i princip torra under stora delar av sommarhalvåret. En bäck som flödar året runt och har en klar grundvattenkaraktär är bäcken mellan Limnor myr och Dämbaträsk (fig. 26).

Till skillnad från stora delar av Gotland är antalet diken på Fårö väldigt få. Den troliga orsaken är att det inte har behövts, dels för att vattnet antingen rinner av snabbt (framför allt på västra och centrala Fårö) eller infiltrerar i mäktiga sandlager (Avanäs), dels för att det saknats storskaligt jordbruk på ön. Hydrauliska gränser som avgränsar grundvattenmagasinet Ulla Hau på Avanäs mot väster är en förhöjning i kalkberget strax väster om Ajkesträsk, Ajkeså och Ringvida bäck. Mot norr, söder och öster gränsar magasinet mot Östersjön. Den generella ytavrinningen sker från de högre liggande centrala delarna ut mot kusten eller mot Ajkesträsk (fig. 23B).

Figur 26. Temperaturmätning för att detektera grundvatten-utflöde i bäck mellan Limnor myr och Dämbaträsk. Foto: Magdalena Thorsbrink

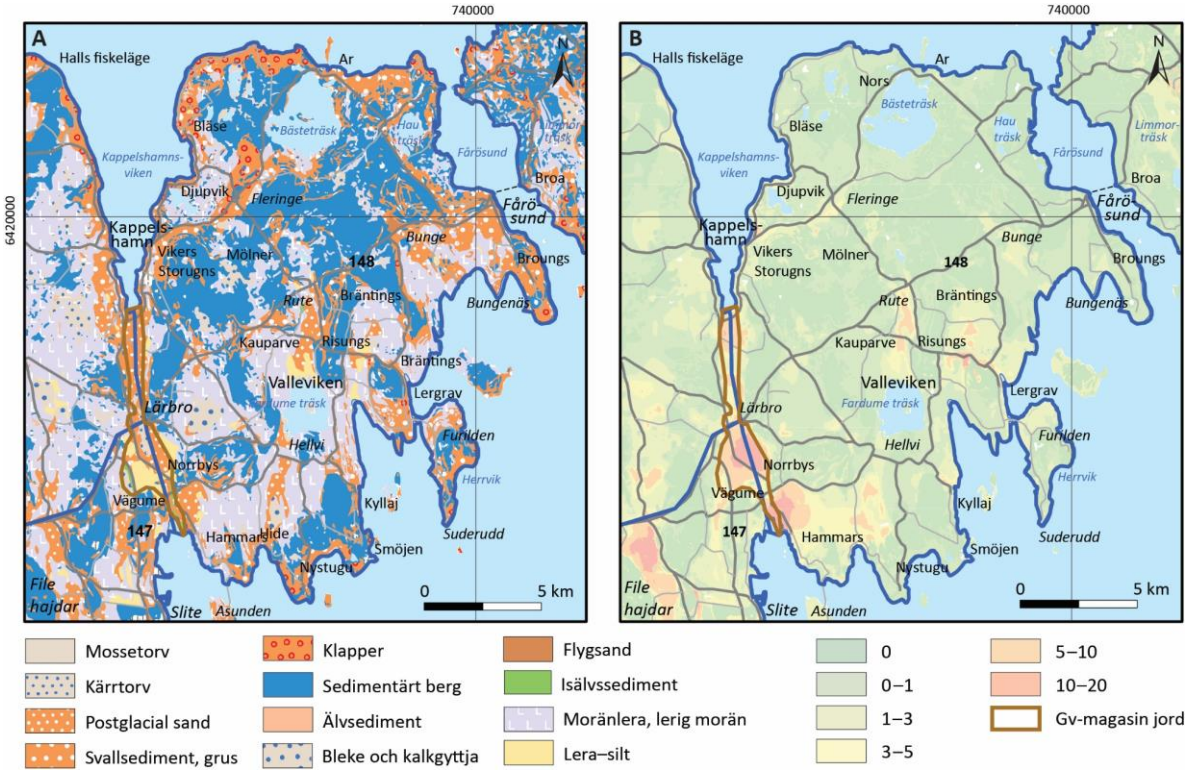
Lärbro–Fårösund

Terrängläge och geologisk översikt

Området utgör huvudöns nordöstliga del och avgränsas av västerut av Lärbrodalen, en sprick eller förkastningszon som sträcker sig från Kapellshamnsviken i norr, via Lärbro till Vägumeviken i söder (fig. 21). Området *Lärbro–Fårösund* motsvarar grundvattenförekomsterna Norra Gotland-Fleringe, Norra Gotland-Rute, de östra delarna av Norra Gotland-Kapellshamn och de norra delarna av Mellersta Gotland-Roma, samt inkluderar en grundvattenförekomst Lärbro i sand- och grus (fig. 19). I området finns stora naturvärden och det rymmer flera Natura 2000-områden och en blivande nationalpark (Bästeträsk).

Markanvändningen domineras av skogsbruk och betesmark med några större sammanhängande områden med åkrar som ofta är knutna till moränområden och områden med större jorddjup (fig. 27).

De ytliga jordlagren består till lika delar av morän och sandiga grusiga svallsediment (fig. 27A). Jorddjupen är oftast mindre än 3 m men i vissa delar finns jorddjup på över 10 m. De mäktiga jordlagren är ofta knutna till dalgångar eller utgörs av strandvallar. Lärbrodalen har mäktiga jordlager, störst mäktighet är det längst söder respektive norrut (fig. 27B). I söder, vid Vägume delar sig dalen i två områden med stora jorddjup, en västlig del ner mot Stenstugu och en östlig del mot Vägumeviken. Dalen som troligen tidigare varit en erosionsdal har senare utgjort en havsvik som fyllts igen allteftersom landet höjts. Lärbrodalen får vatten från höjdområden såväl från öster som väster vilket i kombination med de stora jorddjupen skapar möjlighet för grundvattenmagasin i jordlagren. Även vid Lervik och vid Valleviken finns mäktiga jordlager (fig. 27B).



Figur 27. A. Jordartskarta över *Lärbro–Fårösund*. **B.** Jorddjupskarta över *Lärbro–Fårösund*.

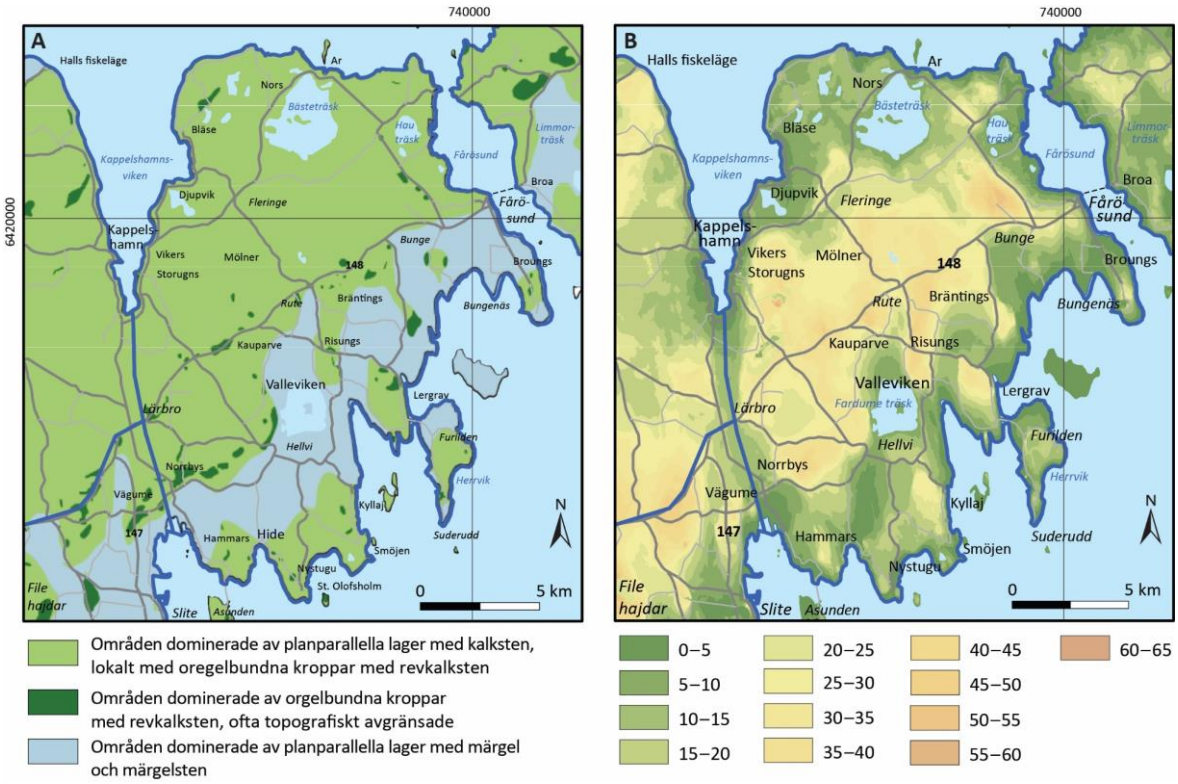
Vad gäller berggrunden kan området delas in i två typer, norr om väg 148 och längst i söder dominerar ren kalksten och revkalksten medan den mellersta delen domineras av märgelsten tillhörande slitemärgel (fig. 28A). *Lärbro–Fårösund* har en tydlig höjd centralt, ungefär i samma sträckning som väg 148 mellan Lärbro och Fårösund, som lutar åt norr och söder (fig. 28B). Berggrunden avspeglas även i jordartsförekomst med företrädesvis häll och svallsand (ofta med tydliga strandvallar) i kalkstensområdena samt moränlera, lera och organiska jordarter i märgelområdet (fig. 27A). Lärbrodalen som utgör områdets avgränsning i väster antas ha sitt ursprung från en tektonisk sprickzon men även en erosionsdal som utgör en lågpunkt.

I områdets högre liggande partier (fig. 28B) är det relativt vanligt förekommande med ytlig karstvittring (fig. 29A) och flera undersökningar har utförts i området kopplat till förekomst av karst, bland annat när det planerades för en stor bergtäkt vid Bunge (SGU 2008, Olofsson & Earon 2015, Naturvårdsverket 2015). Slukhål finns bland annat vid Hoburgs myr (fig. 29B) som avvattnar densamma.

I området finns stora mineralintressen och det har pågått storskalig kalkbrytning i flera decennier, och planer finns på ytterligare framtida kalkbrytning. De stora bergtäkterna är idag Klinthagen vid Storugns-Stora Vikers samt Stucks kalkbrott vid Fårösund (fig. 28A). Vid Lergrav finns ett stort spektakulärt raukområde.

Hydrogeologiska förhållanden

I området finns tre huvudsakliga topografiskt betingade vattendelare som använts för indelning av grundvattenförekomster i vattenförvaltningsarbetet (fig. 19). En finns vid stora vägen (148) mellan Lärbro och Fårösund, en mellan Rute och Svarvmyr och en mellan Näsudden och Pavals vid väg 148 (fig. 28B). Från dessa områden faller grundvattennivåerna och det mesta av det ytliga



Figur 28. A. Berggrundskarta över *Lärbro–Fårösund*. **B.** Höjddata över *Lärbro–Fårösund*.

grundvattnet transporteras mot mer låglänt terräng (fig. 8B). Den generella lagringen och stupningen på den gotländska berggrunden gör att det eventuellt finns en komponent när det gäller grundvattentransport riktad mot sydost och något viktigare på djupet än ytligt. Grundvatten kan här röra sig enklare längs bergartsgränser som till exempel gränsen mellan ovanliggande kalksten (Slitegruppen) och underliggande märgelsten (Visbylager). Väster om *Lärbro–Fårösund* ligger området *Hangvar–Othem* relativt åtskilt från *Lärbro–Fårösund* av Lärbrodalen som utgör en lågpunkt (fig. 21).

Ytlig karst finns inom Lärbro–Fårösund, bland annat sprickkarren vid Bunge (fig. 29A) och slukhål vid Hoburgs myr (fig. 29B). Dessa har påverkan på såväl grundvattenbildningen som den ytliga grund- och ytvattentransporten.

Grundvattenmagasin i jord är oftast små och utspridda inom *Lärbro–Fårösund* men kan ändå vara av lokal betydelse dels för grundvattenbildning, dels för grävda brunnar. I Lärbrodalen finns ett eller troligen flera grundvattenmagasin i de mäktiga jordlager som finns här (fig. 27B). Till Lärbrodalen sker tillrinning både österifrån och västerifrån från höjdområden (fig. 28B). Vid Lärbro är jorddjupet som minst och det finns en nordlig och en sydlig del av Lärbrodalen, med grundvattentransport i sydlig respektive nordlig riktning från Lärbro ut mot havet. Det finns risk för saltpåverkat grundvatten i Lärbrodalen, främst bergmagasinet, då den för endast några 1 000 år sedan var under havsytan. Stor grundvattenbildning till magasinet i jord kan dock delvis spätt ut saltvattnet i magasinet i berggrunden. I Lärbrodalen förekommer artesiskt tryck i berggrunden. SGU utförde en borrning 2017 (0–12 m: lera/sand, 12–18 m: grus/sand, 18–60 m: kalkberg) som vid en stor spricka på 19 m djup gav cirka 2 l/s med självtryck (Dahlqvist m.fl. 2017).

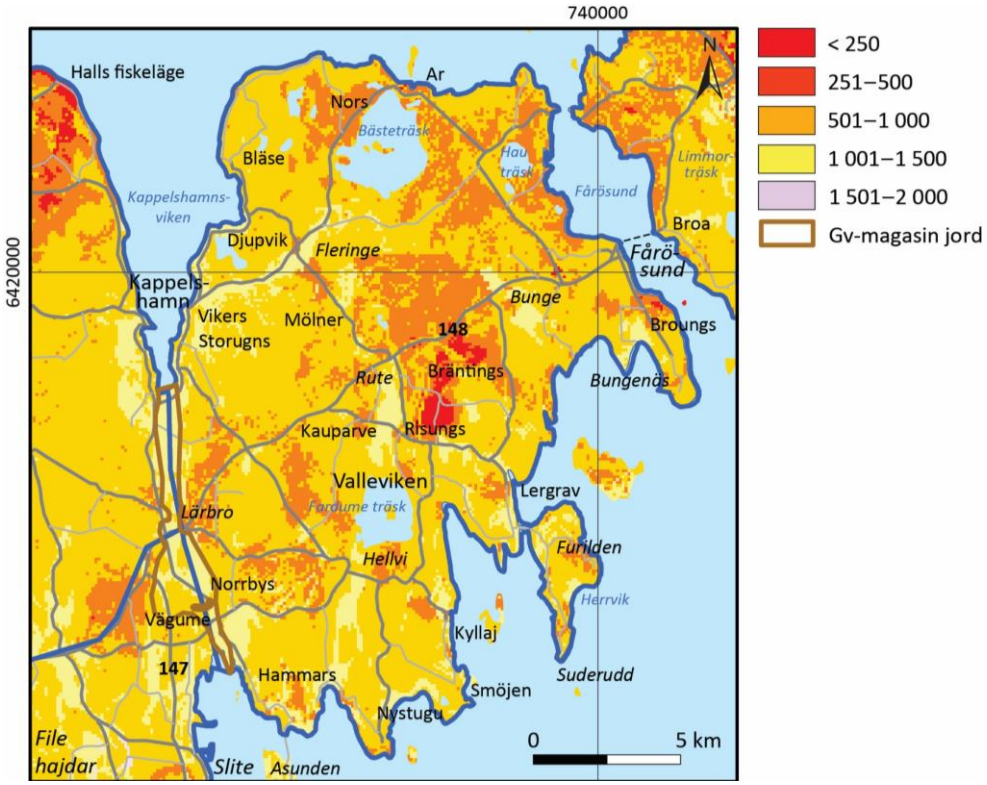
På de små öarna söder om området *Lärbro–Fårösund* samt halvön Furilden, som är avskuren från huvudön av en kanal, är såväl lagringskapacitet som grundvattenbildning begränsad.

Figur 29. A. Sprickkarren (karst) vid Bunge. Foto: Magdalena Thorsbrink. **B.** Slukhål vid Hoburgs myr. Foto: Peter Dahlqvist.

Uttagsmöjligheter

Områden med relativt stora jorddjup och genomsläppliga jordarter ger en relativt god magasineringsförmåga i stora delar av området. Troligen är det därför oftast den årliga grundvattenbildningen till berg som är styrande för uttagsmöjligheten under torrår i den sedimentära berggrunden snarare än magasineringsförmågan (Hjerne m.fl. 2021a). I områden med häll (fig. 28A) är det däremot magasineringsförmågan troligen som är styrande under torrår. Den till ytan vanligaste bedömningen av uttagsmöjligheten ligger på 500–1 000 l/dygn/ha (fig. 30) Relativt goda uttagsmöjligheter bedöms finnas i områden med stora jorddjup som i Lärbrodalen, vid Fleringe kyrka samt från Rute söderut till Hideviken 1 000–1 500 l/dygn/ha (fig. 30). Lägst grundvattentillgång (under 500 l/dygn/ha) bedöms finnas i höjdområden (fig. 30), till exempel vid Brantings haids naturreservat ner mot Risungs, ofta i kombination med inget eller mycket tunna jordlager (fig. 27B).

I Lärbrodalen finns det stora jorddjup (fig. 27B) vilket ökar såväl lagringsförmågan som förutsättningarna för grundvattenbildningen i området. Detta gör att det rent kvantitativt finns mer vatten i Lärbrodalen, både i grundvattenmagasin i jord och berg. I större sprickzoner, som till exempel Lärbrodalen, tenderar det större antalet sprickor göra att uttagsmöjligheterna är något större än utanför sprickzonerna. Dock finns det en stor risk för saltpåverkat grundvatten. Borrningar i Lärbrodalen vittnar om varierade lagerföljder med sand och lera om vartannat, vilket skapar mindre uthålliga grundvattenmagasin med lägre uttags-möjlighet än vad mäktighets-uppgifterna pekar på. En SGU-borrning visar på 6 meter grus och sand med goda flöden under 12 m med lera och sand (Dahlqvist m.fl. 2017). Även området vid Valleviken/Lergrav har stora jorddjup (fig. 27B) men tillrinningsområdet är begränsat och inga större grundvattenuttag möjliga. Förutsättningar för förstärkt grundvattenbildning finns i Lärbrodalen (Dahlqvist m.fl. 2017b).



Figur 30. Karta över Grundvattentillgång uttryckt som liter/dygn/ha inom *Lärbro–Fårösund*.

Anslutande ytvatten

I området finns tre större ytvatten: Bästeträsk som är Gotlands största sjö, Hau träsk och Fardume träsk (fig. 27A). Bästeträsk har en area på ca 6,5 km^2, och det finns ett tillstånd för kommunalt dricksvattenuttag från sjön. Vattenkvaliteten är god. Bästeträsk är sedan 2001 ett naturreservat och sjön och dess omgivningar håller på att få status som nationalpark. Hau träsk har tidigare använts som reservvattentäkt men kvaliteten har blivit sämre varför den inte används sedan 2015. Fardume träsk tillförs grundvatten som är så mättat med kalciumkarbonat att kalk fälls ut i sjön som bleke och bildar stora blekebankar på sjöns botten. Sjön sänktes på 1800-talet vilket bidragit till igenväxning och den kemiska sammansättningen på vattnet.

Ett antal äldre kalkbrott, till exempel Blå lagunen som idag används som badsjö, är idag vattenfyllda och att beteckna som små men djupa sjöar där grundvattenytan och vattenytan i kalkbrottet är ungefär samma. Även ute på Furilden finns vattenfyllda gamla stenbrott. Kalkbrotten skapar lågpunkter i topografin till vilka det samlas yt- och grundvatten. I vissa fall förs vattnet bort från täkterna genom diken till Östersjön.

Det finns ett antal större bäckar, till exempel bäcken som avvattnar Fardume träsk och de diken som finns i Lärbrodalen. I huvudsak är dessa dränerande men under vissa perioder, och i geologiskt infiltrationsbenägna områden, kan de bidra med vatten till grundvattenmagasinen. De mindre bäckarna är i princip torra under sommarmånaderna och kan betraktas som dränerande, det vill säga att de inte bidrar till grundvattenmagasinen.

I området finns ett antal områden med myrar, till exempel Ojnaremyr, Tvärlingmyr, Mölnermyr och Hoburgsmyr, samt våtmarker och vätar som till stora delar är fuktiga endast delar av året (fig. 31). Nettonederbörden och den ytliga grundvattentransporten utgör en viktig del för att upprätthålla områdenas ekologiska status (Naturvårdsverket 2015).

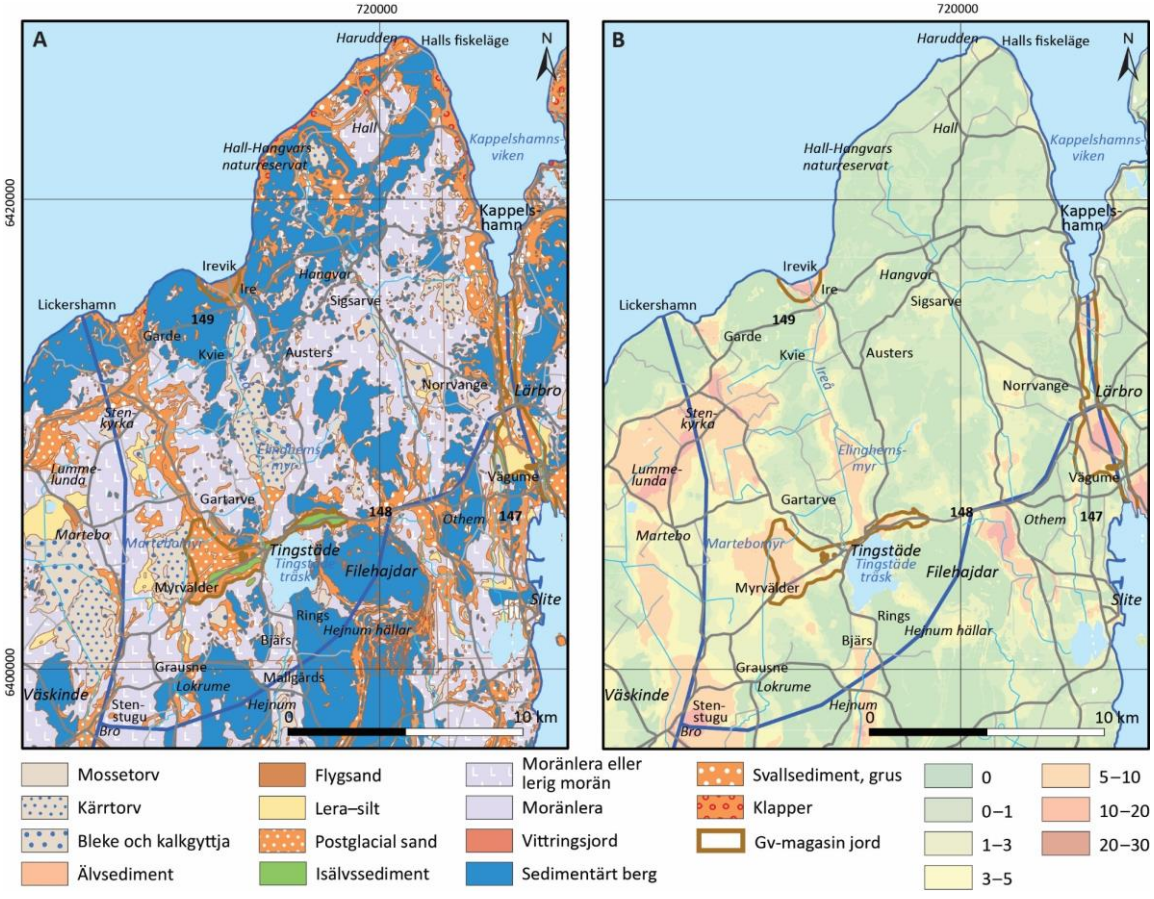
Figur 31. Uttorkad vät vid Bunge. Foto: Peter Dahlqvist.

Hangvar–Othem

Terrängläge och geologisk översikt

Området avgränsas i väster vid Lickershamn, i norr av Halls fiskeläge och i öster av Kapellshamnsviken ner till Lärbro och sedan vidare inåt land mot Othem. Avgränsningen fortsätter därefter söderut till Tingstäde träsk, vidare till Lokrume och Bro (fig. 21). Området motsvarar grundvattenförekomsten ”Norra Gotland Stenkyrka” och den västra delen av grundvattenförekomsten ”Norra Gotland Kappelshamn” samt inkluderar grundvattenförekomsten Tingstädeåsen i sand- och grusavlagringar (fig. 19). Martebomyr och Elingshemsmyr är två stora utdikade myrar i området. Martebomyr var, före extensiv utdikning på 1800–1900-talet, Gotlands största myr- och sjökomplex (34 km^{2}vid år 1880). De östra delarna av *Hangvar–Othem* domineras av skog, med jordbruksmark på tidigare torvmark, medan de västra delarna till övervägande del består av åkermark på utdikad myrmark. I huvudsak utgörs den södra och västra gränsen av högre liggande terräng och stupar mot ostnordost mot låglänt terräng vid Kapellshamnsviken.

Inom Hangvar–Othem domineras jordarterna av morän (fig. 32A). Områden med svallsand och torv finns i förlängningen av Lickershamn och Ireviken i nordväst–sydostlig riktning. Här finns även de största jorddjupen, vanligen 5–10 m, vilket ska jämföras med att stora delar av området består av hällmark och tunna jordlager (fig. 32B). I Lärbrodalen finns stora jorddjup, dalen avhandlas i avsnitt *Lärbro–Fårösund*. Torvmarkerna domineras idag av bleke och kalkgyttja, då mycket av torven är bortoxiderad på grund av uppodling.

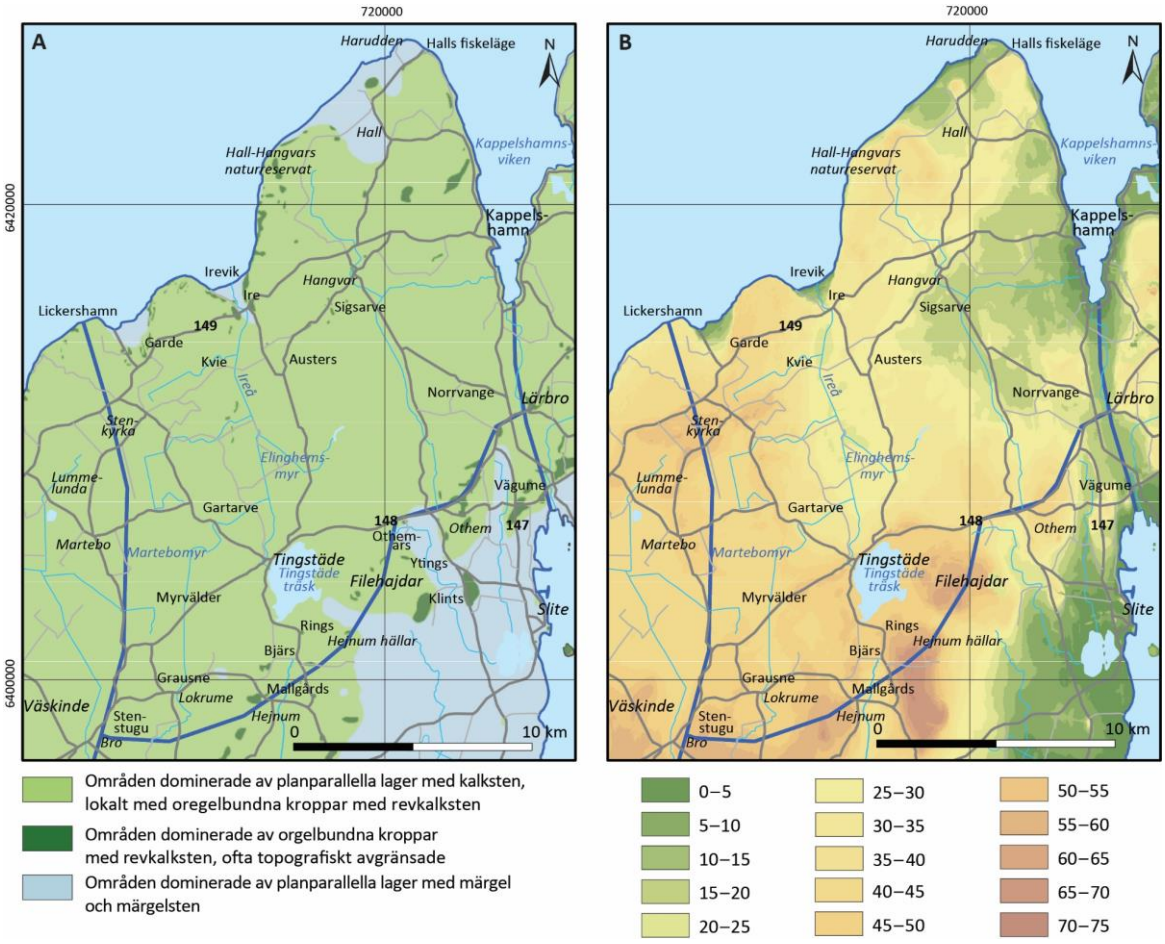


Figur 32. A. Jordartskarta över *Hangvar–Othem*. **B.** Jorddjupskarta över *Hangvar–Othem*.

I anslutning till Tingstäde träsk finns Tingstädeåsen som är Gotlands största isälvsavlagring (fig. 32A). Åsen är som mest 15 m mäktig i de centrala delarna och i anslutning finns stora arealer med svallade ofta grova sand- och grusavlagringar bland annat utformade som strandvallar (fig. 7, Svantesson 2008). Tingstädeåsen syns tydligt i höjddata (fig. 33A) och har en dämmande effekt mot Tingstäde träsk. Den troliga anledningen är glaciallera eller annan tät jordart som ligger mellan Tingstäde träsk och Tingstädeåsen (Svantesson 1972).

Längs klintkanten i nordväst och i en smal remsa inåt land består berggrunden av Visbymärgel (fig. 33A). Söder om detta stråk finns lagrad kalkarenit med varierande inslag av stromatoporoidé-kalksten och revkroppar tillhörande Högklintformationen (fig. 33A). I sydost vid Othem kommer ett nytt område med märgel, nu bestående av Slitemärgel. Enligt Dahlqvist m.fl. (2017) är det troligt att NNO–SSV respektive NNV–SSO riktade svaghetszoner i berggrunden avgränsar både Ireviken och Lickershamnsviken vilket skapat strukturella förutsättningar för den kvartära erosion som format dessa vikar och förut-sättningarna för större jorddjup (fig. 32B). Även Lärbrodalen som utgör områdets avgränsning i öster antas bero på en tektonisk sprickzon som under kvartär tid även varit en erosionsdal.

Inom *Hangvar–Othem* förekommer såväl ytlig som djupare liggande karst. Sprickkarren finns företrädesvis i de högre liggande områdena mot File Hajdar och Hejnum hällar (jämför fig. 33B). Slukhål finns bland annat nordväst om Tingstäde träsk i Furbjärsån.



Figur 33. A. Berggrundskarta över *Hangvar–Othem*. **B.** Höjddata över *Hangvar–Othem*.

Hydrogeologiska förhållanden

Området gränsar till *Lärbro–Fårösund* österut, mot *Visby* i väst, och mot *Roma–Gothem* söderut (fig. 21). I öst utgörs gränsen av Lärbrodalen som får anses utgöra en relativt fast vattendelare. Gränsen söderut är topografiskt betingad vilket delvis är fallet västerut. Topografiskt sett är det troligt att det sker en viss ytlig grundvattenströmning från de sydvästra högre liggande delarna mot ostnordost samt rakt österut mot Lärbrodalen mot mer låglänt terräng (fig. 8B). Den generella lagringen och stupningen i berggrunden gör att det ofta sker en grundvattentransport riktad mot sydost, i alla fall på lite större djup i berggrunden. Grundvattnet i berg rör sig oftast längs bergartsgränser som till exempel gränsen mellan den ovanliggande kalkstenen (Högklint) och underliggande märgelsten (Visbylager).

Inom *Hangvar–Othem* finns förekomst av relativt storskalig karst. Strax norr om Tingstäde träsk försvinner en del av ytvattenflödet i Furbjärsån i ett slukhål och kommer senare upp i en stor källa, Kutkäldu. Ytliga karstskrevor som påverkar den ytliga mark- och grundvattentransporten finns i den högre liggande terrängen (fig. 33B) inom området.

Risk för saltpåverkat grundvatten finns främst i den kustnära zonen. I övrigt finns det risk för relikt saltvatten på större djup. Enligt Dahlqvist m.fl. (2017) ligger nivån för var det finns stor risk för saltvatten i nivå som den märgel (Visby) som ligger under kalkstenen (Högklintslager). Djupet till denna nivå ökar mot sydost. Viss risk i Lärbrodalen och eventuellt även i NNO–SSV sprickzoner i förlängningen av Lickershamnsviken och Ireviken (Dahlqvist m.fl. 2017.)

De huvudsakliga grundvattenmagasinen i jordlagren kan finnas i områden med större jorddjup, som Lärbrodalen, Tingstädeåsen och stråket med svallsand Martebomyr–Stenkyrka–Lickershamn samt i de mer komplexa avlagringarna med svallsand, torv och gyttja vid Elinghems myr till Irevik (fig. 32). I övriga områden är sand- och grusavlagringarna mer splittrade, av mindre mäktighet och därmed mer av lokal betydelse. Tingstädeåsen som är Gotlands största isälvsavlagring breder ut sig norr om Tingstäde träsk, har en sydvästlig–nordostlig sträckning, är cirka 2 km lång (fig. 32A) och består till delar av grovt stenigt isälvsgrus (Svantesson 2008). Åsen är draperad av leriga sediment och ovanpå det svallsand vilket gör att det finns två skilda grundvattennivåer kopplat till åsen, en i svallavlagringarna och en i själva isälvsavlagringen (Karlqvist m.fl. 1982). Uppmätta grundvattennivåer i åsmaterialet ligger på upp mot +44,5 m, vilket är cirka 10 m högre än grundvattennivåerna i kalkberget under åsen (Carlstedt 2016). Hydrogeologiska förhållanden i Lärbrodalen avhandlas i avsnitt *Lärbro–Fårösund*.

Inom området *Hangvar–Othem* förekommer artesiska förhållanden. Som ett exempel utförde SGU en undersökningsborrning 2015 (Dahlqvist m.fl. 2017) i ett område där det antogs finnas gott om grundvatten. Borrhålet utfördes nära Elinghems myr och enligt uppskattning vid borrningen gav borrhålet över 30 000 l/tim av eget tryck. Tolkningen är att grundvattenströmningen sker från högre liggande områden vid Tingstäde och norrut. De täta jordlagren och en tät övre berggrund, topografiska förhållanden och ett tryck från områden med karstupplösning kan skapa förutsättningar för dessa artesiska förhållanden.

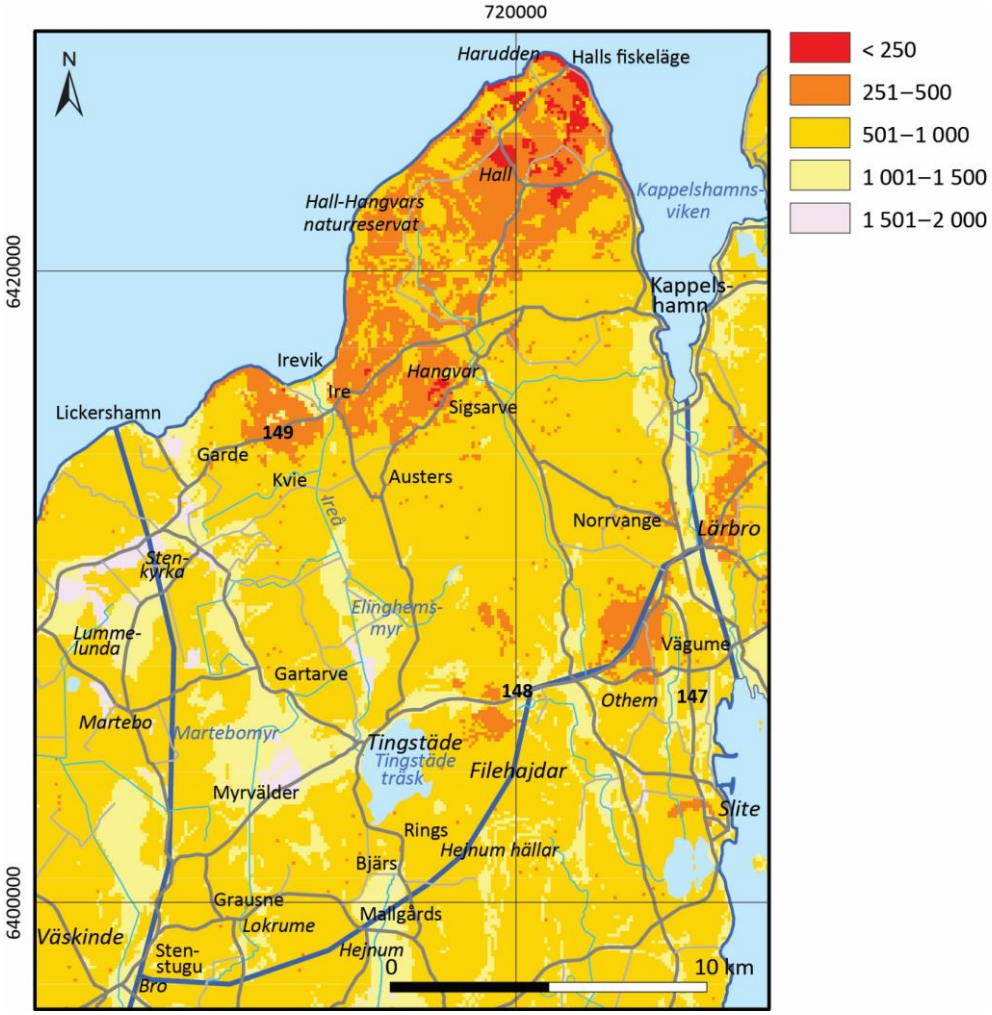
Uttagsmöjligheter

Den till ytan vanligaste bedömningen av uttagsmöjligheten i området ligger på 500–1 000 l/dygn/ha (fig. 34). Det finns dock stora sammanhängande områden framför allt i hällområden i norr där kapaciteten är lägre (251–500 l/dygn/ha). I största delen av området *Hangvar–Othem* är det troligen grundvattenbildningen till berg som är den begränsande faktorn under torrår. Uttagsmöjligheterna från Lärbrodalen avhandlas i avsnitt *Lärbro–Fårösund*.

Bättre förutsättningar för grundvattenuttag är knutna till områden med större jorddjup (fig. 32B) och lågpunkter som till exempel området vid Stenkyrka respektive Elinghems myr (fig. 33B).

Dessa områden sammanfaller med områden där det förekommer förkastningar som kan skapa förutsättningar för bättre flöden (Dahlqvist m.fl. 2015). I söder ansluter området mot Hejnumdalen med goda förutsättningar, vilket diskuteras i avsnitt *Roma–Gothem*. Det förekommer artesiskt tryck i berggrunden inom *Hangvar–Othem*. SGU utförde en borrning 2017 (0–3 m: jord, 3–6 m: lera,
6–7 m: grus/sand, 7–35 m: kalkberg) som vid en stor spricka på 24 m djup gav cirka 30 l/s med självtryck (Dahlqvist m.fl. 2017).

Uttagsmöjligheterna från grundvattenmagasinet i Tingstädeåsen (även en grundvattenförekomst, se fig. 19) är förhållandevis låga med tanke på att det är en isälvsavlagring (VIAK 1974a). Borrningar och undersökningar (t.ex. Carlstedt, 2016) visar på förekomst av relativt täta lager av moränlera under isälvsavlagringen vilket gör att även grundvattenbildningen till berggrunden är lägre än förväntat.



Figur 34. Karta över Grundvattentillgång uttryckt som liter/dygn/ha inom *Hangvar–Othem*.

Anslutande ytvatten

Inom området ligger Gotlands näst största sjö, Tingstäde träsk (fig. 32). Sjön har en area på 4,7 km^2 och ett maxdjup på endast 1,7 m. Den totala vattenvolymen beräknas till 3,2 miljoner m^3. Tingstäde träsk utgör ytvattentäkt och förser bland annat Visby med dricksvatten. Ett fåtal små och äldre stenbrott som idag är vattenfyllda finns inom området, bland annat väster om Klintehamn.

Ireån rinner mot nordväst mot Ireviken och är i sina nedre delar ett relativt ostört och naturligt lopp, medan stora delar uppströms består av rätad och dikad kanal som är djupt nedskuren i marken. Tillrinningsområdet är stort, både Martebo myr, Tingstäde träsk och Elinghems myr avvattnas. Medelvattenföringen är cirka 1,6 m^3/s men flödet varierar kraftigt över året (SMHI). Strax norr om Othem, vid Stenstugu, börjar en bäck som på sin väg norrut delvis består av rätad kanal och dike. Vattendraget heter Vasteån och har ett stort tillrinningsområde och avvattnar flera mindre myrområden och inte minst den större Träskmyr på sin väg mot Kappelshamns-viken. Även Vateån är till stora delar utdikad och rätad men består i sista sträckan innan havet av en relativt naturlig åfåra. Medelvattenföringen är cirka 0,75 m^3/s men flödet varierar kraftigt över året (SMHI).

Inom området finns ett antal källor, varav den största är Kutkäldu (fig. 35) som ligger norr om Tingstäde träsk och får sitt vatten från slukhål i Furbjärsån. Några kilometer väster om Lärbro ligger Hångers källa som sägs ha inspirerat till sommarpsalmen *Den blomstertid nu kommer* (skriven av Israel Kolmodin, Källakademin 2001). Hångers källa ingår sedan 1970-talet i SGU:s nationella miljöövervakningsprogram.

Figur 35. Källan Kutkäldu strax norr om Tingstäde träsk. Foto: Magdalena Thorsbrink.

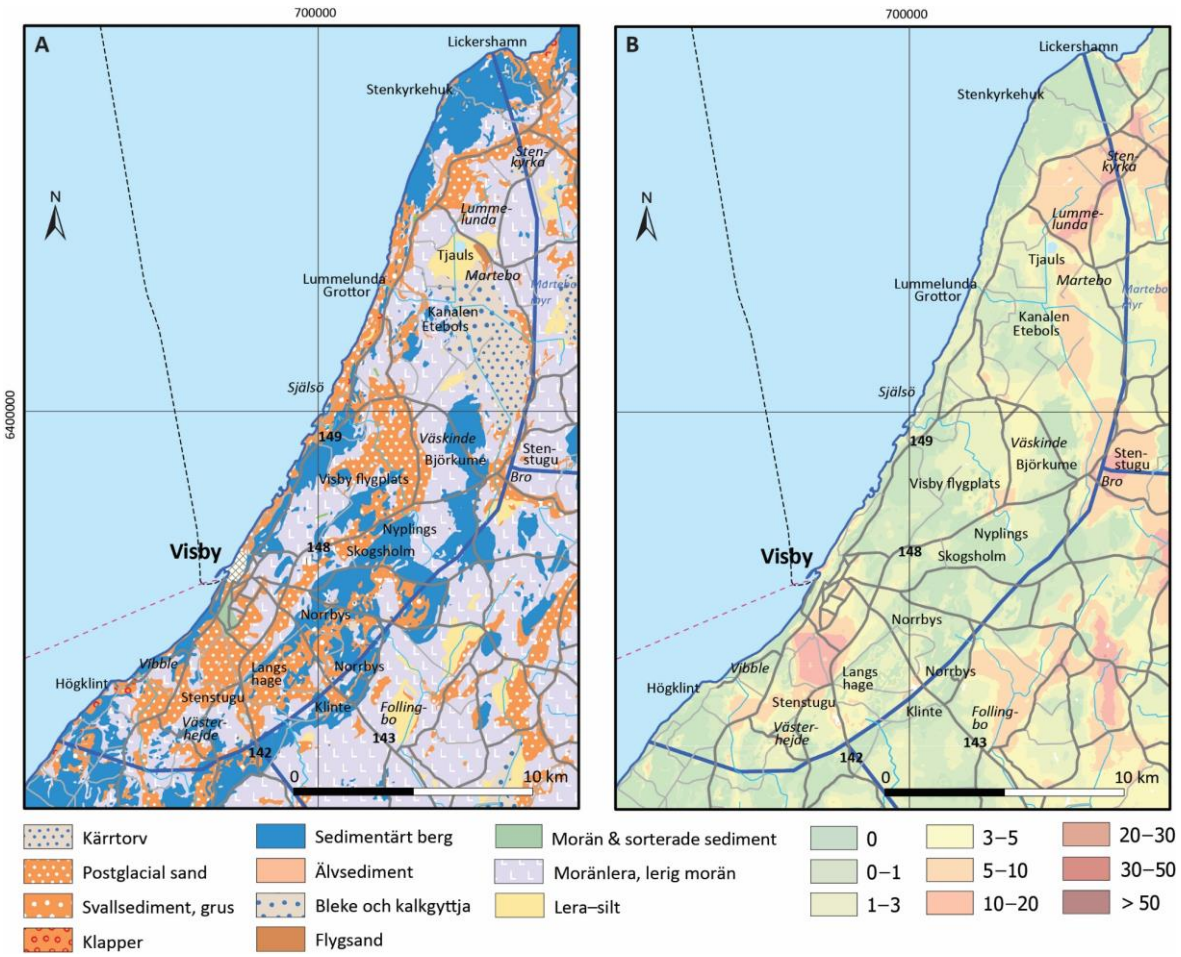
Visby

Terrängläge och geologisk översikt

Området *Visby* sträcker sig längs Gotlands nordvästra kust mellan Västerhejde i söder och upp till strax söder om Lickershamn i norr. Det inkluderar Visby stad samt områdena öster därom (fig. 21). Markanvändningen varierar stort inom området, med stadsmiljö i Visby, odlingsmark vid Mörbymyr, större sammanhängande hällområden vid Hejdeby och skogsområden vid Follingbo. Området motsvarar grundvattenförekomsten ”Mellersta Gotland Visby”. Topografiskt är området högre i de sydöstra delarna och sluttar mot väster och avslutar ofta med en brant klintkant vid havet.

Moränlera och lerig morän är den dominerande jordarten, framför allt i de centrala delarna av området, medan de södra och norra delarna består av mer sandiga sediment och områden med endast tunt jordtäcke (fig. 36A). Dock finns det ett antal områden med mäktiga sorterade jordarter som lokalt kan vara över 20 m, till exempel vid Langs Hage och nordost om Landträskdammen (fig. 36B).

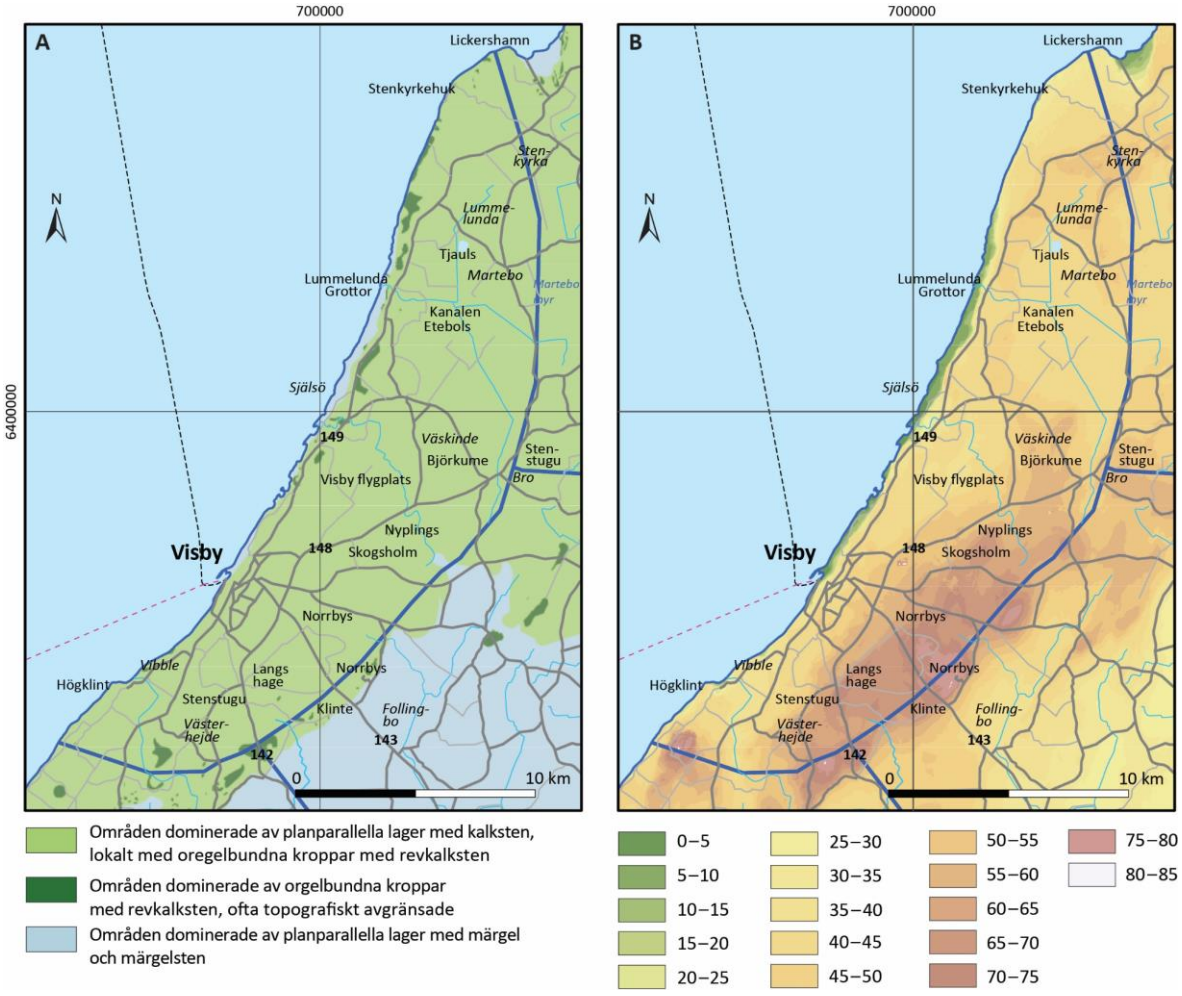
Vid Martebo finns en stor areal med torv, bleke och kalkgyttja i den västra delen av Martebo myr. Myren är idag utdikad och uppodlad men tillhörde före utdikningen på 1800–1900-talet Gotlands största myr- och sjökomplex (34 km^2 vid år 1880).



Figur 36. A. Jordartskarta över *Visby*. **B.** Jorddjupskarta över *Visby*.

Berggrunden i området består i huvudsak av Slitegruppens revartade kalksten i väster, som i de södra delarna övergår till märgelsten i öster (fig. 37A). I kustklintarna i väst syn lagerföljden tydligt, med stora revkroppar som överlagrar och tynger ned underliggande Visbymärgel (fig. 15). Övergången mellan de kalkstensdominerade delarna inom området och märgeln som breder ut sig österut är mycket tydlig i topografin och i landskapet (fig. 37B). Kalkstenen är i området oftast 20–30 m mäktig men kan i delar av området uppgå till så mycket som 80 m.

Inom området finns förekomst av såväl ytliga karstskrevor, doliner och slukhål som stora grottsystem. Lummelundagrottan är en av Sveriges kändaste grottsystem och ligger cirka 12 km norr om Visby. I området finns även ett flertal doliner och vattnet i Lummelundagrottan kommer dit från ett antal slukhål. I en undersökning rörande uran, radium och radon i mark och vatten i Visby och på Gotland diskuteras sambandet mellan förekomst av karst och ökad risk för radon samt presenteras översiktligt kartmaterial med områden där det finns kända doliner, grottor och områden med karstsprickor (Erlström m.fl. 2007) från Högklint i söder till Terra Nova i öster till Brucebo i norr. Karstsprickornas dominerande riktning mellan Österby och Endre är vanligen nordostlig (SGU 2005).



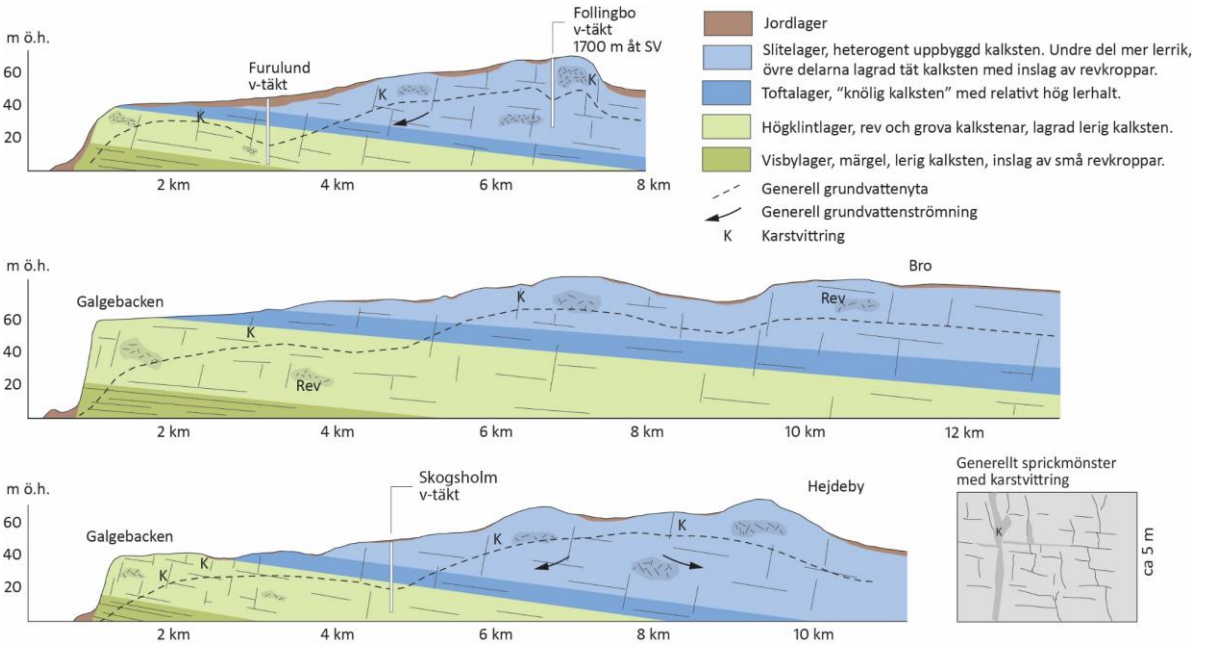
Figur 37. A. Berggrundskarta över området *Visby*. **B.** Höjddata över området *Visby*.

Hydrogeologiska förhållanden

Området gränsar till *Hangvar–Othem* i nordost, mot *Roma–Gothem* i ost, och mot *Tofta–Klintehamn* söderut (fig. 21). Den huvudsakliga transportriktningen för grundvattnet är från de topografiskt högre liggande östra delarna och västerut mot havet (fig. 37B, fig 8B). SGU sammanställde information om geologin och hydrogeologin öster om Visby inför en revidering av Visby vattenskyddsområde (Carlstedt & Erlström 2005). Bland annat redovisade man en konceptuell geologisk och hydrogeologisk modell för området, se figur 38.

De högsta grundvattennivåerna finns i de sydvästra delarna mellan Västerhejde och Klinte, den generella bilden är att grundvattennivåerna faller från höjdområdena i öst mot havet i väst (fig. 8B). Längs klintkusten i väst finns det lokalt områden med större grundvattenutflöden (fig. 39). Vid flera av dessa är det en särskild natur med grundvattenberoende ekosystem, bland annat vid Brucebo som rymmer stora ekologiska värden i form av fuktmarker med orkidéer, men även en klint som är full av smågrottor. Visby stad anlades troligen där staden ligger i dag på grund av de många källor som sipprade fram i området och i många decennier utgjorde dricksvattenkällor för befolkningen i Visby (Bergström 1987).

Karstvittring är vanligt förekommande i området, mest välkänt är Lummelundagrottornas karstsystem, men det finns flera underjordiska vittringssystem, bland annat vid Bro (Gustafsson & Erlström 2007). Ytlig karst har påverkan på såväl grundvattenbildningen som den ytliga grundvattentransporten och de djupare liggande karstgrottorna har stor påverkan på avrinningen inom området. Slukhål inom området har bland annat använts för att avleda avloppsvatten från ett regemente på Visborgs slätt och för att snabbt leda bort vatten från dränerade våtmarker. Länsstyrelsen Gotland har inventerat bland annat förekomst av slukhål i Visby (Nordström 1996). Flera så kallade källhorisonter (fig. 39) som syns längs klintkanter får sitt vatten från karstsystem.



Figur 38. Schematiskt tvärsnitt av berggrunden kring Visby och österut (från Carlstedt & Erlström 2004).

En sammanställning av Sweco (2021) för vattentäktsbrunnar vid Vibble visar att det uppspruckna kalkberget lokalt här har transmissivitet på 2×10^{-4} m^2/s. Vidare indikeras en huvudsaklig grundvattentransport under naturliga förhållanden ifrån en ostligt belägen grundvattendelare.

Risk för saltpåverkat grundvatten inom *Visby*-området är som störst nära kusten och då rör det sig om risk för inducering från Östersjön vid större grundvattenuttag. Den generella bilden är att gränsen för det salta grundvattnet följer gränsen mellan kalksten och märgel och ökar österut inom området *Visby* (Dahlqvist m.fl. 2015). Dock finns det områden med relikt saltvatten på mindre djup.

Grundvattenmagasin knutna till jordlager finns framför allt i områden med mäktiga sand- och grusavlagringar, som vid Langs Hage, vid Lummelunda och möjligen i området mellan Stenstugu och norrut mot Landträskdammen (fig. JDV). I Langs hage är den omättade zonen stor, ibland över 10 m. Dock underlagras sanden ofta av morän eller tätt berg vilket gör att grundvatten-bildningen till djupare liggande berg inte är så stor som den skulle kunnat vara (SGU 2005). De täta förhållandena under sand- och grusavlagringarna bidrar också till avrinning vid dessa nivåer vilket antas skapa vissa av de källflöden som finns i området.

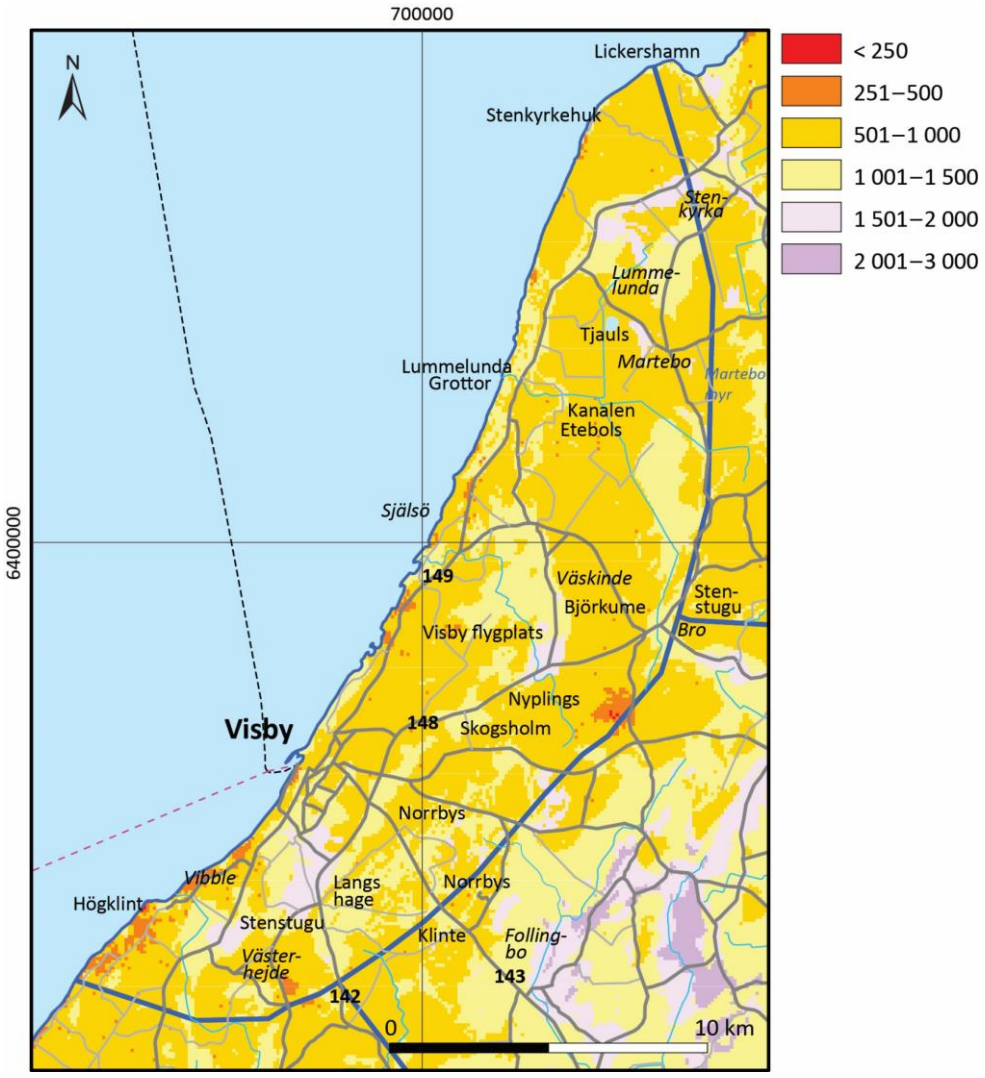
Inom området *Visby* förekommer artesiskt tryck i berggrunden. SGU utförde en borrning 2014 (0–1,8 m: jord, 1,8–82 m: kalkberg) som under vinterhalvåret är svagt artesisk medan nivån sjunker under marknivå på sommarhalvåret (Dahlqvist m.fl. 2017).

Figur 39. Källhorisont längs klintkanten, södra Visby. Foto: Peter Dahlqvist.

Uttagsmöjligheter

Den till ytan vanligaste bedömningen av uttagsmöjligheten i området ligger på 500–1 000 l/dygn/ha (fig. 40). Områden med lokalt bättre magasineringsförmåga, och därmed lokalt större uttagmöjligheter (1000–2000 l/dygn/ha) finns i områden med större jorddjup som till exempel vid Stenkyrka, Väskinde, och Langs hage (fig. 40). Inom området *Visby* är det grundvattenbildningen till berg som är den begränsande faktorn vid torrår (Hjerne m.fl. 2021b). Den hydrauliska konduktiviteten i berggrunden är enligt SGU:s sammanställning av brunnsdata relativt hög i ett stråk från Nyplings i söder upp mot Martebo och Stenkyrka (fig. 11) vilket pekar mot något bättre förutsättningar för uttag ur brunnar.

Inom området *Visby* finns ett antal grundvattentäkter som tillsammans gör stora grundvattenuttag (se bland annat SGU 2005). I framtagandet av vattenskyddsområde för Visby gjordes en insamling av rapporter som utrett bland annat grundvattenbildning i området, vilket resulterade i ett genomsnittlig uppskattat värde på 150 mm/år (SGU 2005).



Figur 40. Karta över grundvattentillgång uttryckt som liter/dygn/ha, inom området *Visby*.

Slutsatser från ett flertal utredningar vid Vibble visar att det är den magasinerande förmågan som styr uttagskapaciteten i berg (Sweco 2021). Grundvattennivåer reagerar snabbt på nederbörd och berggrunden har hög genomsläpplighet. Under perioder med hög grundvattenbildning (november–april) kunde man göra mellan två och tre gånger så stora uttag (400–500 m^3/dygn) jämfört med under perioder med låg eller ingen grundvattenbildning (strax över 150 m^3/dygn) med liknande påverkan från uttagen. Det är dock mycket möjligt att förutsättningarna för stora grundvatten-uttag är bättre i just detta område än området runt Visby generellt.

Anslutande ytvatten

Två större vattendrag, Själsöån och Lummelundaån rinner från öst mot väst i de norra delarna av magasinet. Ett fåtal mindre vattendrag, ofta mer dikesliknande och ibland kulverterade med ost–västlig riktning finns också. Längs vattendragen sker stort utbyte mellan grundvatten och ytvatten, under vissa perioder till grundvattenmagasinet och vissa tider från detsamma.

Inom magasinet finns ett flertal bevattningsdammar av olika storlek och ålder. Den största och troligen även den äldsta är Landträskdammen som anlades på 1970-talet och är cirka 20 ha. Dammen är anlagd inom det område som torrlades när man dikade ur Martebomyr på 1800-talet.

Det vatten som idag rinner genom Lummelundagrottans karstsystem kan spåras till de delar av Martebomyr som även kallas Mörbymyr. Diket som heter Lummelundaån men som lokalt kallas Kanalen, har ett antal slukhål (fig. 41) som under stora delar av året gör att ån är helt torrlagd nedströms dessa. Under senare tid har flera av dessa grävts ut vilket sannolikt påverkar flödet. Endast under höga vinterflöden går det vatten i kanalen hela vägen ut till havet. Sedan utdikning av myren på 1800- och 1900-talet har vattenföringen minskat avsevärt i Lummelundagrottans karstsystem. Kanalen är grävd och sprängd ner i berggrunden och är flera meter bred och djup. I flera av sidokanalerna utfördes ett antal reglerbara dämmen under 2021 för att bättre kunna reglera vattenföring i kanalen och grundvattennivåerna uppströms så att skadlig uttorkning inte sker (LRF 2021).

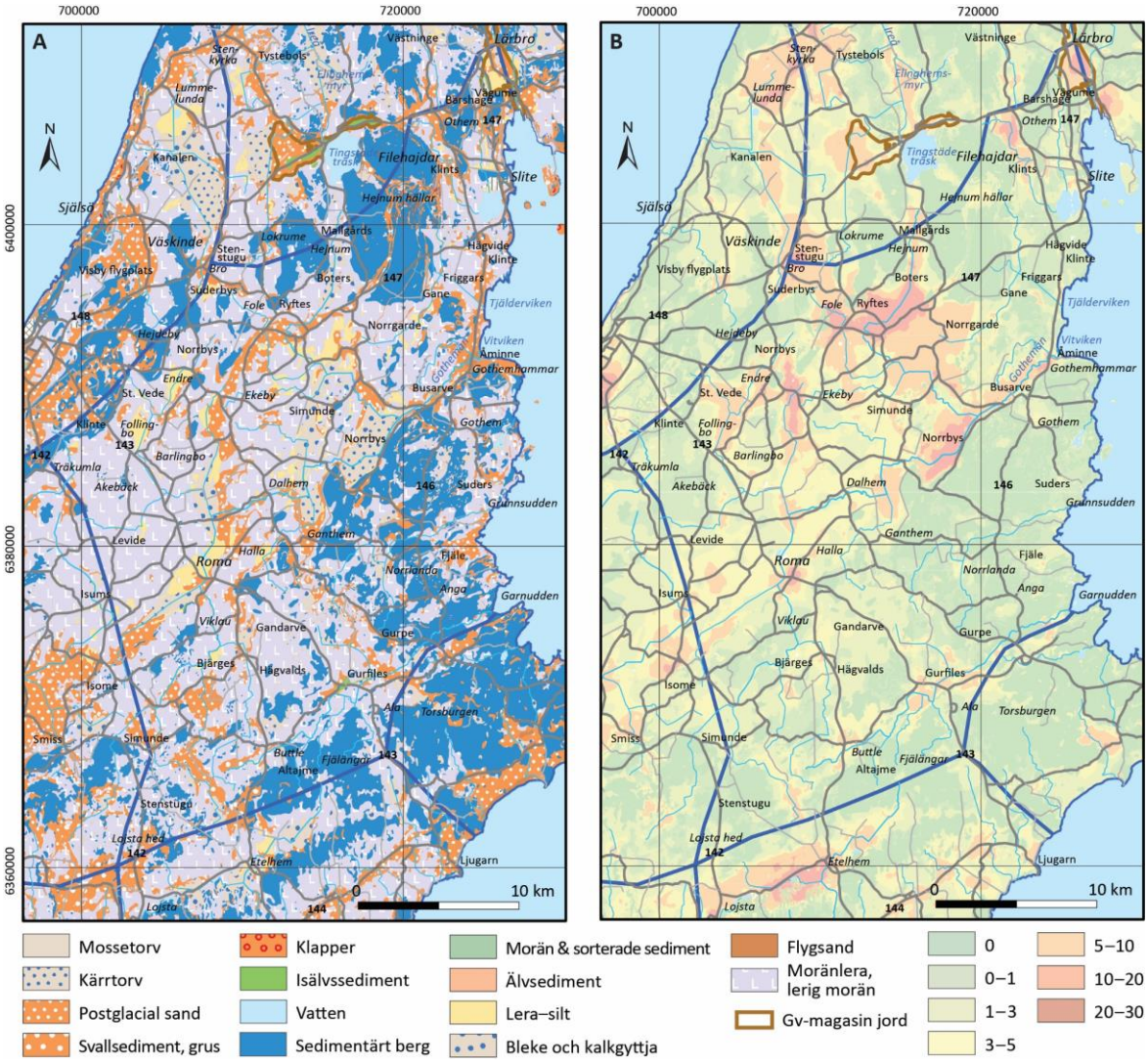
Figur 41. Foto på slukhål i kanalen. Foto: Peter Dahlqvist.

Roma–Gothem

Terrängläge och geologisk översikt

Området *Roma–Gothem* är ytmässigt mycket stort och dess yttre gräns följer i stora drag Gothemsåns avrinningsområde. Omfattas gör även områdena vid Slite och Österby vilka avvattnas av vattendraget Sjuströmmar. Området motsvarar idag grundvattenförekomsten ”Mellersta Gotland Roma” med undantag för delarna vid Östergarnslandet, samt den nordligaste delen av grundvattenförekomsten, på den östra sidan av Vägumeviken, som beskrivs i de separata avsnitten *Östergarnslandet* respektive *Lärbro–Fårösund* (fig. 21, fig. 19).

I stora delar finns mäktiga jordlager med morän och svallsand som breder ut sig över flacka uppodlade områden (fig. 42). Vidare finns områden dominerade av hällmarker med inga eller endast tunna jordlager. En längre sammanhängande strandvall sträcker sig i nordvästlig riktning från Romakloster via Ekeby och vidare mot Bål. Större områden med svallsand finns i området kring Åminne (fig. 42A). Av lagerföljder i Brunnsarkivet framgår att svallsanden i stora delar underlagras av moränlera. I området finns flera äldre myrmarksområden såsom Tallmyr,

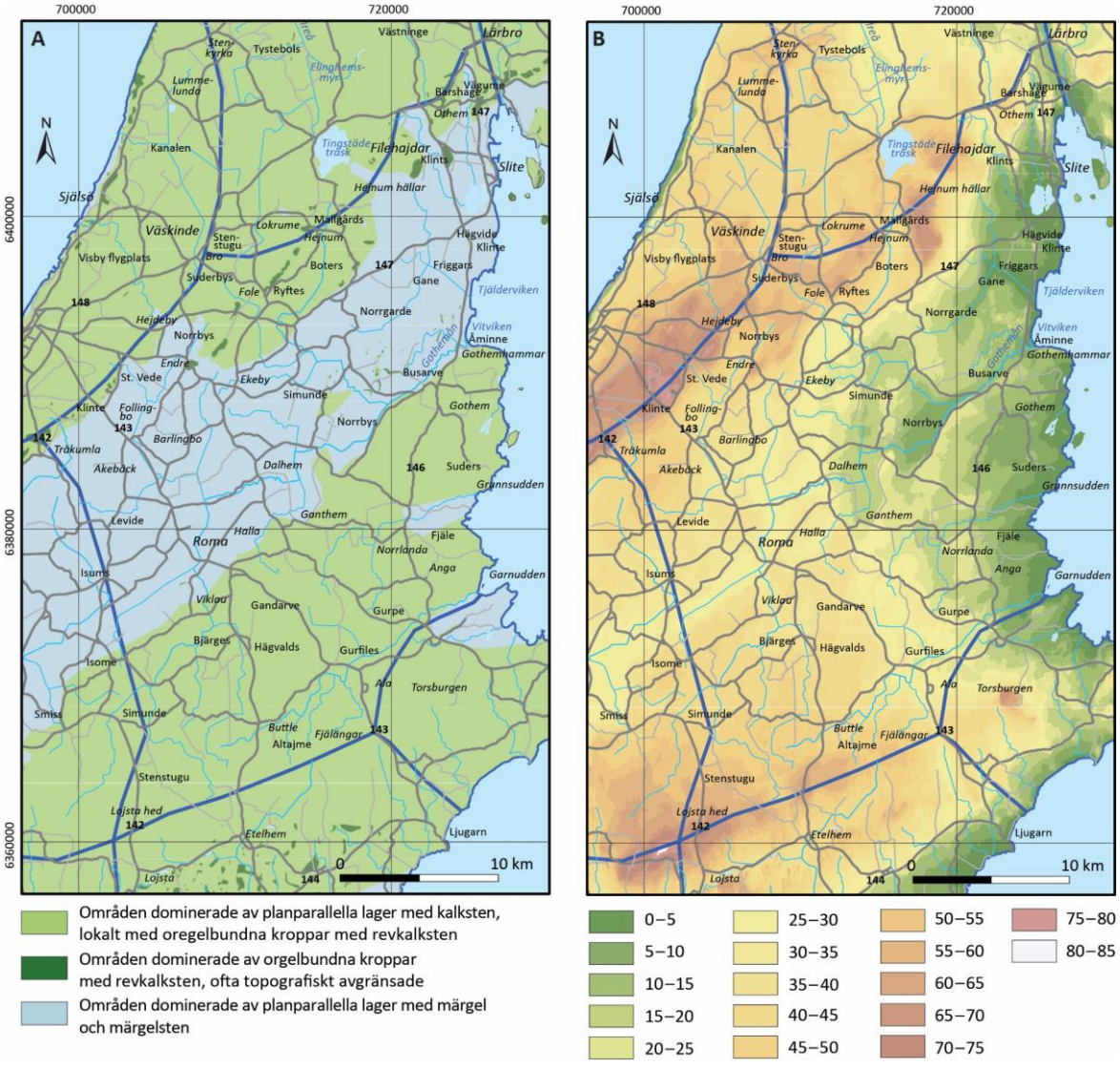


Figur 42. A. Jordartskarta över *Roma–Gothem*. **B.** Jorddjupskarta över *Roma–Gothem*.

Komyr och Linemyr. Vissa av myrmarkerna bedöms vara rena igenväxningstorvmarker och vissa bedöms ha bildats till följd av betydande grundvattenutflöden. I myrmarksområdena är marken ofta utdikad och uppodlad vilket gjort att marköverytan kan ha sjunkit med flera decimeter.

Inom *Roma–Gothem* finns områden med mäktiga jordlager, i vissa fall över 15 m (fig. 42B). Ett område är knutet till Gothemsån, där jordlagren består av omväxlande sediment. Det är delvis finkorniga sediment i form av lera och bleke avsatta i lugna stillastående miljöer, dels igenväxningssediment som torv, men även sand och grusavlagringar som pekar mot avsättning i högenergimiljöer. Även i området mellan Barlingbo och Bäl finns jordlager mäktiga med djup mellan 10–15 m ofta knutet till svallsand och strandvallar.

Berggrunden inom denna del av Gotland utgörs av märgelsten och fragmentkalksten samt revkalksten (fig. 43A). Fragmentkalksten består i huvudsak av lagrade krinoidé- och stromatoporoidékalkstenar men även ett betydande inslag av revkroppar, framför allt i formationens övre delar. Denna kalkstensdominerade berggrund utgör merparten av kalkstensområdet som sträcker sig över mellersta Gotland (fig. 2; Dahlqvist m.fl. 2017).



Figur 43. A. Berggrundskarta över *Roma–Gothem*. **B.** Höjddata över *Roma–Gothem*.

Sett till området som helhet sluttar marköverytan österut ut mot Östersjön (fig. 43B). Lokalt finns också marklutningar västerut ner mot bland annat Gothemsån där ån rinner i gränslandet mellan märgelsten och kalksten. Lokala avvikelser i topografin finns också där kalkstensformationer med sannolikt lägre vittringsgrad skapat lokala höjder. I de delar där märgelsten utgör det ytligaste lagret är jorddjupen i regel större jämfört med de delar där fragmentkalkstenen ligger i ytan där jordtäckena istället är tunnare (fig. 42B). Orsaken till det bedöms bland annat vara att märgelsten är mer lättvittrad än den omgivande kalkstenen vilket lett till större mäktigheter av moränlera kunnat ansamlas i dessa områden. Centralt i området från Roma och mot sydost finns en svacka troligen bildad av erosion. I området finns storskalig kalkbrytning vid Slite där man bryter både kalksten och märgel. I södra delarna vid Buttle finns ett riksintresse för kalksten där det finns planer för brytning av kalksten.

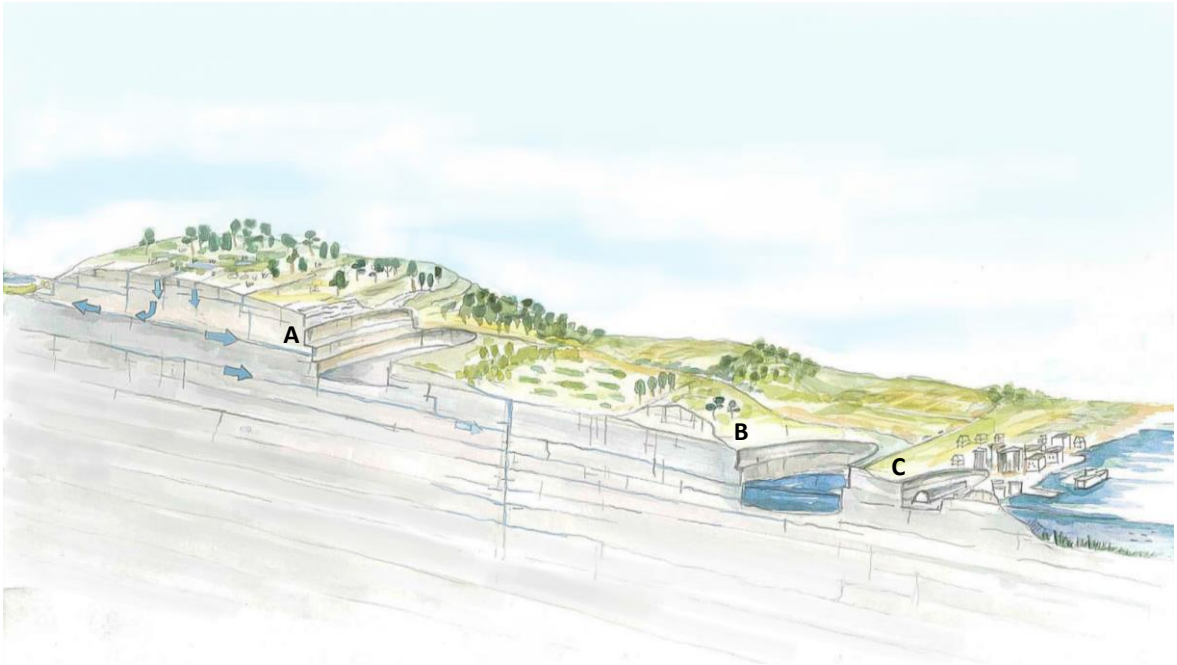
Karst finns framför allt i höjdområdena vid Lojsta i söder och längs den norra avgränsningen av området *Roma–Gothem* vid File Hajdar och Hejnum hällar. Dokumentation av karstsprickor och större sprickor i brottväggarna i File Hajdars dagbrott utförda av Golder (2020) visar på dominerande sprickriktningar i nordnordvästlig (280–330°) samt ostnordostlig (70°) riktning. Söder om Ala vid områdets sydöstra gräns har SGU utfört undersökning av karst (Erlström m.fl. 2022).

Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattenytan sluttar liksom markytan generellt österut mot Östersjön (fig. 8B). Vid en jämförelse mellan interpolerade grundvattennivåer och förekomst av torv samt källmiljöer framgår flera områden där marknära grundvattennivåer sannolikt varit orsaken till bildandet av torvmarken. Utöver utläckage i anslutning till vissa av torvmarkerna sker lokala grundvatten-utflöden också via ett antal källutflöden samt längs delar av vattendragen i området. Centralt i området vid Roma finns en svacka med lägre liggande grundvattennivåer, i anslutning till dalen finns troligen en rörlig grundvattendelare mot *Tofta–Klintehamn* någonstans i närheten av Atlingbo (fig. 8B).

Vattenförande sprickförekomster i berggrunden finns bland annat i anslutning till bergarts-gränser i området, mellan till exempel kalksten och märgel. I området kring Slite har ett flertal utredningar visat på att det finns särskilda skikt som är betydligt mer vattenförande (bland annat Golder 2021; fig. 44). Vidare finns sprickbildningar i gränsen mellan de kroppar av revkalksten som finns inbäddade i kalkstenen i området, som även de bedöms vattenförande. Enligt under-sökningar (VIAK 1974, 1981) finns en högkonduktiv vertikal zon (uppskattningsvis 550 m bred och minst 2 km lång i nord–sydlig riktning, fig. 44) i området öster om File Hajdar ungefär i dalgången vid golfbanan. Mer vattenförande områdena sammanfaller också med läget för det stråk med strandvallar och svallsand med större jorddjup som går från Romakloster och vidare mot nordväst (fig. 42B).

Fördjupade undersökningar av grundvattentillgången har bland annat gjorts av VIAK 1971–1973 (VIAK 1974b). Under dessa undersökningar utfördes provpumpning av brunnar i berg i tre lägen. Vid Fole utfördes en provpumpning i början av augusti 15 l/s under 14 tim. Baserat på nivå-mätningar i omgivande brunnar beräknades transmissiviteten i medelvärde till $1{,}37 \times 10^{-3}$ m^2/s och magasinskoefficienten (S) i medelvärde till $3{,}3 \times 10^{-5}$. Beräkningarna visade på något skilda värden för T och S beroende på riktning från uttagsbrunnen vilket bedömdes bero på att berggrundens spricksystem i området är anisotropt, vilket ter sig fullt rimligt.

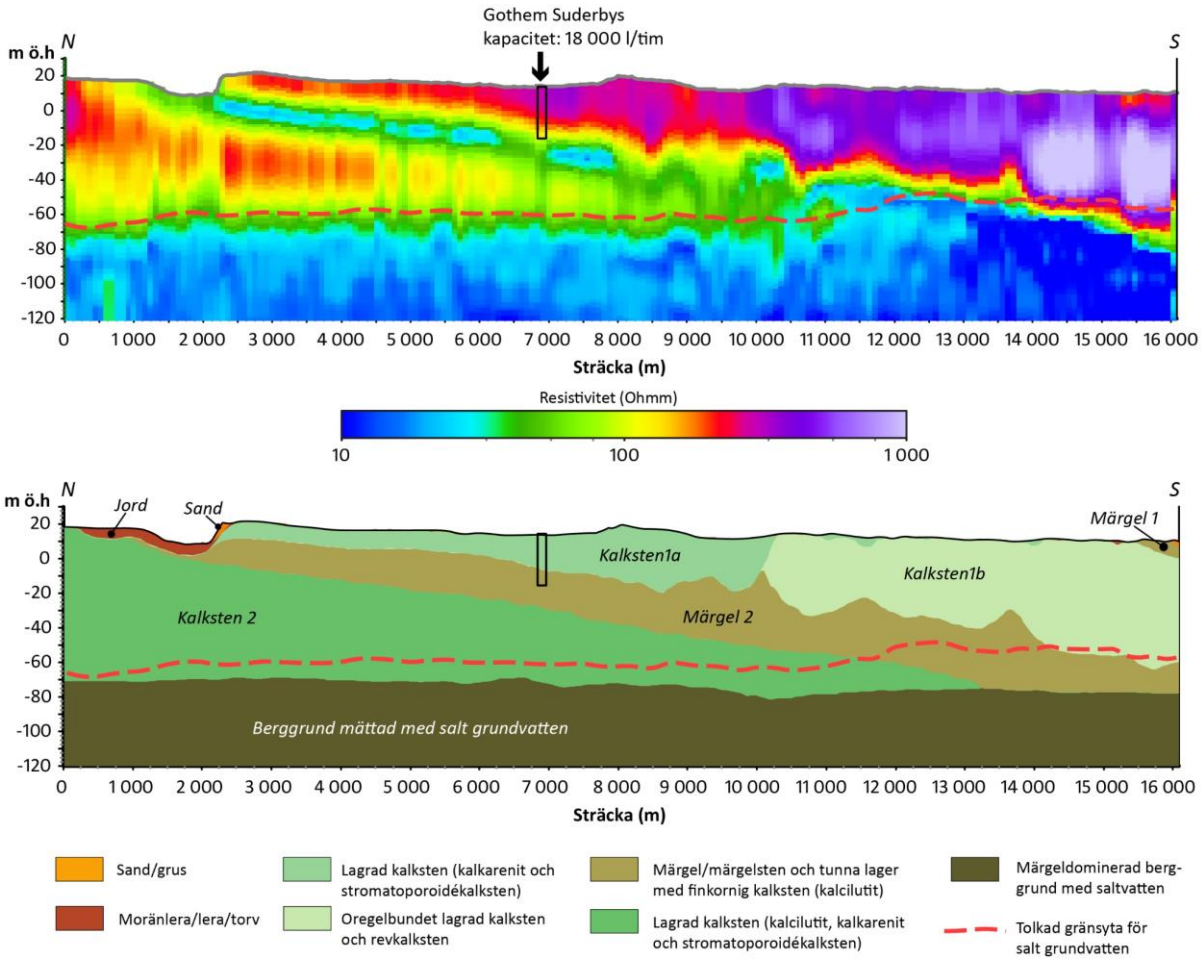


Figur 44. Schematisk illustration av berggrunden och kalkbrotten Filehajdar (**A**), Västra brottet (**B**) och Östra brottet (**C**) vid Slite. Centralt i bilden ses möjligt läge för den vertikala krosszonen i området. För att åskådliggöra höjdskillnaderna är tvärsnittet "överförhöjt" i höjdled. Notera att flödespilarnas storlek inte motsvarar flödesmängd utan endast visar riktning. Ilustration: Magdalena Thorsbrink

Sammantaget visade beräkningarna en avsänkningstratt på 2 170 m från uttagsbrunnen. Även vid Hejnum utfördes en liknande provpumpning. Här provpumpades 15 l/s under ett dygn i juli månad. Utvärderingen av provpumpningen visade på en något lägre transmissivitet ($0{,}82 \times 10^{-3} m^2/s$) än vid Fole samt att avsänkningen sannolikt påverkats av en hydraulisk gräns beroende på egenskaper i berggrundens uppbyggnad. Då de hydrauliska parametrarna stämde relativt bra överens mellan områdena vid Fole och Hejnum samtidigt som en inbördes påverkan hade kunnat registrerats mellan de båda områdena gjordes bedömningen att det råder en hydraulisk kontakt dem emellan. Provpumpning utfördes även vid Endre med 12,1 l/s i 12,5 timmar. Även här visade de beräknade värdena på S och T på anisotropa förhållandens samt påverkan av en hydraulisk gräns men man kunde inte verifiera en kontakt med de två andra områdena.

Även i Roma har det utförts ett flertal fördjupade undersökningar. Bland annat finns en undersökning av grundvattenförhållandena i berggrunden vid Roma som baserat på provpumpning visar på en grundvattenbildning i storleksordningen 15 mm/år. Orsaken till den låga grundvattenbildningen anges bero av täta ytjordarter och mindre vattenförande berglager (lersten; SWECO 2016). Baserat på provpumpningsdata från området har transmissiviteten (T) beräknats till mellan $1{,}5 \times 10^{-4}$ och $4{,}1 \times 10^{-4}$ m^2/s Vidare konstaterar tidigare undersökningar att det i vissa brunnar råder artesiska förhållanden, vilket således innebär att grundvattenmagasinen i Romaområdet är av sluten karaktär (VBB VIAK, 1978).

Ett ytterligare exempel på artesiska förhållanden framkom vid det borrhål som utförts i området vid Gothems Suderbys i arbetet med utförda helikopterburna TEM-mätningar. Här framkom i samband med borrning såväl artesiska förhållanden som en stor uppmätt vattenmängd på 18 000 l/tim (fig. 45, Dahlqvist m.fl. 2017). Den stora vattenmängden kan bero på närheten till Gothemsån och de mäktiga jordlager med höga tryckpotentialer som finns där. Bedömningen är att det även föreligger en hydraulisk kontakt längs berggrundens lagringsplan mellan kalksten och underliggande märgel och dessa trycknivåer kan även finnas längre bort från Gothemsån (fig. 45).



Figur 45. Schematisk bild över geologiska lager och hydrogeologiska förutsättningar (omgjord från Dahlqvist m.fl. 2017b).

Grundvattnets förekomst i jordlagren är framför allt knutet till områden med mäktiga jordlager (fig. 42B), som oftast består av strandvallar och större svallsandsområden samt även kopplat till dalar där det runnit olika åar och kanske även floder sedan senaste istiden.

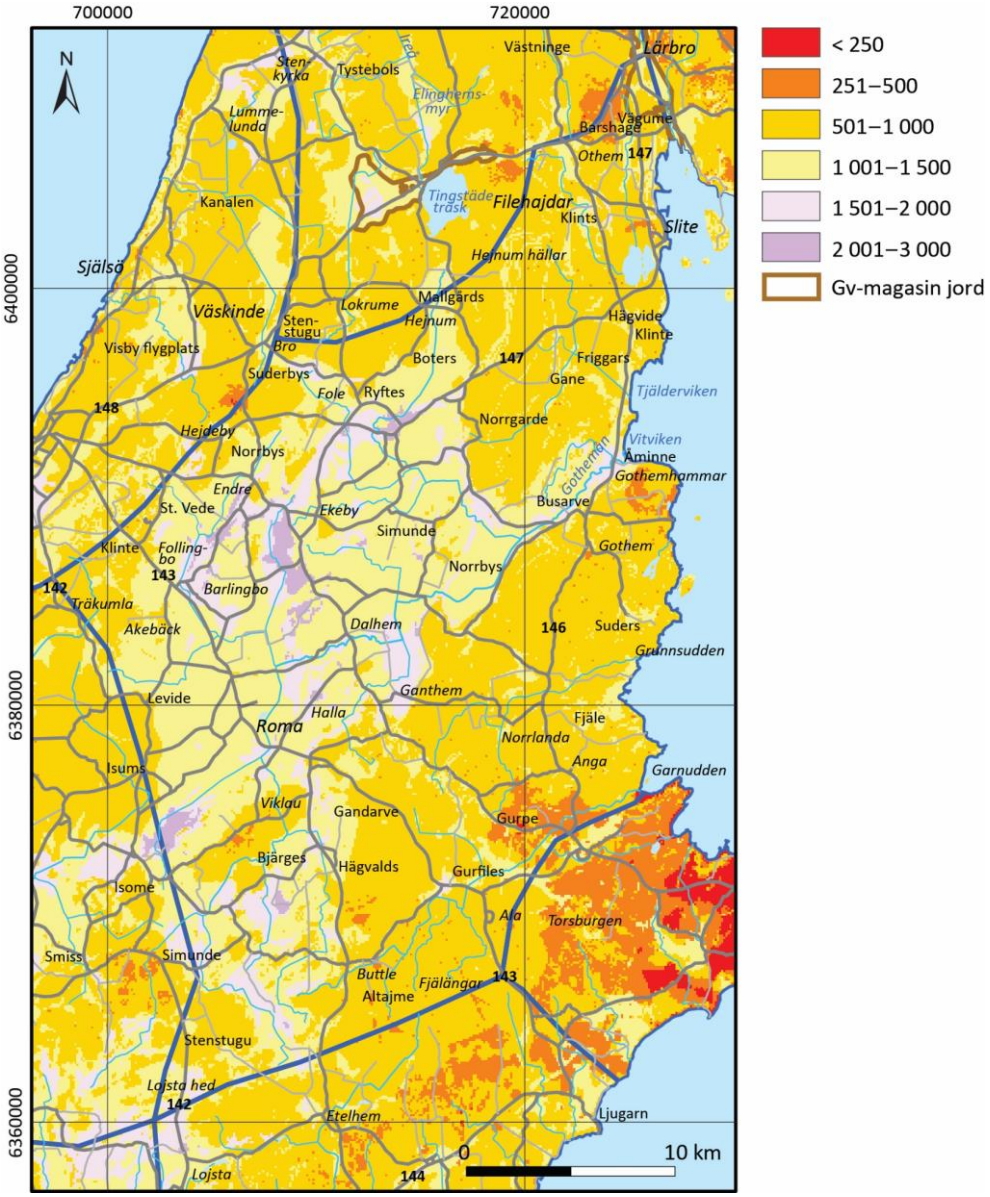
SGU planerar att de kommande åren bland annat undersöka jordlagren vid Ganthem, Gurpe, Gurfiles och Tings. De mäktiga jordlager som finns i Gothemsåns nedre delar är till stora delar relativt finkorniga men där kan finnas mäktiga sandavlaringar inbäddade. Nära kusten vid Åminne finns det mäktiga sand- och grusavlagringar som kan hålla mycket grundvatten och även användas för konstgjord infiltration (Dahlqvist m.fl. 2017b). Hydrogeologiska parametrar i jord och berg vid Åminne diskuteras i bl.a. Kemakta & Pentacon (2019).

I anslutning till kalkbrotten vid Slite är grundvattenförhållandena påverkade med en generell grundvattenavsänkning med avledning av inläckande vatten (Golder 2021). I de delar där jordbruk dominerar är jordlagren dränerade, vilket styr grundvattenytan och grundvattnets transportriktning. Området *Roma–Gothem* är det mest odlingsintensiva på Gotland och dränering av jordbruksmarken är påtaglig.

Inom *Roma–Gothem* finns förekomst av salt grundvatten ofta knutet till djupare berglager av märgel (se Dahlqvist m.fl. 2015 & 2017a) och vid bland annat Åminne finns även förhöjda halter av bor i vissa brunnar (se avsnitt *Grundvattnets kvalitet*).

Uttagsmöjligheter

Jorddjupen, jordarterna och genomsläppligheten i berg ger sammantaget en god magasineringsförmåga inom i stort sett hela området *Roma–Gothem*. Det gör att det nästan uteslutande är den årliga grundvattenbildningen till berg som är styrande under torrår för uttagsmöjligheten i den sedimentära berggrunden (Hjerne m.fl. 2021a). Områden med lokalt bättre magasineringsförmåga, och därmed lokalt större uttagmöjligheter (över 1000 l/dygn/ha), ses främst i den västra delen i jordbruksområdena vid Fole, Endre, Roma och Dalhem (fig. 46) som domineras av morän och svallsand. Den hydrauliska konduktiviteten i berggrunden är enligt SGU:s sammanställning av brunnsdata särskilt hög i stråket Akebäck–Bäl (fig. 11).



Figur 46. Karta över grundvattentillgång uttryckt som liter/dygn/ha, inom området *Roma–Gothem.*

Inom *Roma–Gothem* finns större stråk med goda uttagsmöjligheter (1 500–3 000 l/dygn/ha) till följd av en kombination av bättre vattengenomsläpplighet i berg, generellt större jorddjup och förekomst av svallsandsavlagringar (fig. 46). Områden med häll har oftast lägre uttagsmöjligheter (500–1 000 l/dygn/ha). Vid en jämförelse mellan berggrundskartan (fig. 43A) och grundvattentillgången (fig. 46) syns ingen tydlig skillnad i uttagskapacitet mellan områden med märgel och kalksten.

I de östra delarna närmare havet finns större uttagsmöjligheter längs med Gothemsån där jorddjupen varierar mellan 4–22 m (fig. 42B). Volymmässigt gör det att området längs med Gothemsån innefattar den största jorddjupen på Gotland. Området nära kusten vid Åminne rymmer med stor sannolikhet möjligheter för såväl uttag ur brunnar i jord som möjlighet för infiltration för förstärkt grundvattenbildning (Dahlqvist m.fl. 2017). Områdets mäktiga jordlager har påverkan på grundvattenbildning till berglager. Ett exempel på de goda uttagsmöjligheterna är den vattenmängd som erhölls vid borrningen vid Gothems Suderby där den uppmätta vattenmängden uppgick till 18 000 l/tim (Dahlqvist m.fl. 2017).

Bedömningar från de undersökningar och provpumpningar som utfördes av VIAK (1974b) inom området Endre–Fole–Hejnum talar om utvinningsbara grundvattentillgångar på minst 30–40 l/s.

Anslutande ytvatten

Genom området rinner Gothemsån (högre upp Hörsneån), som har ett avrinnginsområde på cirka 480 km^2 med en medelvattenföring på 3,7 m^3/s. Dock är flödet oftast under 0,5 m^3/s under perioden maj–oktober (SMHI). Vattenflödet börjar i tre olika tillflöden. Dels från höjderna öster om Lojstahed, dels i områdena norr om Endre och dels från områdena norr om Hejnum. De flesta delflöden som avvattnar området norrut har runnit samman vid Line myr. Gothemsån avrinningsområde upptas av ungefär lika delar skog och åker. Åkermarkerna utgörs delvis av utdikade myrområden varav ett är Line myr där vattnet går i en grävd kanal. Öster om Hörsne har ån ett naturligt förlopp och här finns återkommande partier med grus och block.

I norr finns höjdområden vid Hejnum hällar och File Hajdar där ett antal mindre vattendrag börjar. Vatten från kalkindustrin på File Hajdar dräneras i bäcken som efter att ha runnit igenom Slite golfbana till slut mynnar i Bogevik. Medelvattenföringen inklusive dränerat vatten är cirka 80 l/s (Dahlqvist m.fl. 2017b). Strax väster om golfbanan fanns tidigare Dyhagen kupolkällor, dessa är sedan 1950-talet uttorkade på grund av stora vattenuttag (Tullström 1954). Här återfinns också ett stort antal Natura 2000-områden med olika typer av våtmarker, bland annat Bälsalvret som är ett rikkärr med ett flertal källor och rikkärrs-komplexet Hejnum–Kallgate–Bojsvätar som består av källor med kalktuffbildning, öppna kärr med blekebildning, och slingrande småbäckar. Utbytet mellan grundvatten och ytvatten är stort i dessa delar av området. I vissa områden, till exempel vid dalgången vid Hejnum, når trycknivån över marknivån och torvalagringar kan bero på utläckande grundvatten (VIAK 1974b).

Längst i söder rinner Lösån som passerar bland annat Näsmyr och Nygårsmyr. Ån har sin början väster om Buttle och höjdområdet i söder som avgränsar området *Roma–Gothem* mot området *Hemse-Stånga* (fig. 43B).

Tofta–Klintehamn

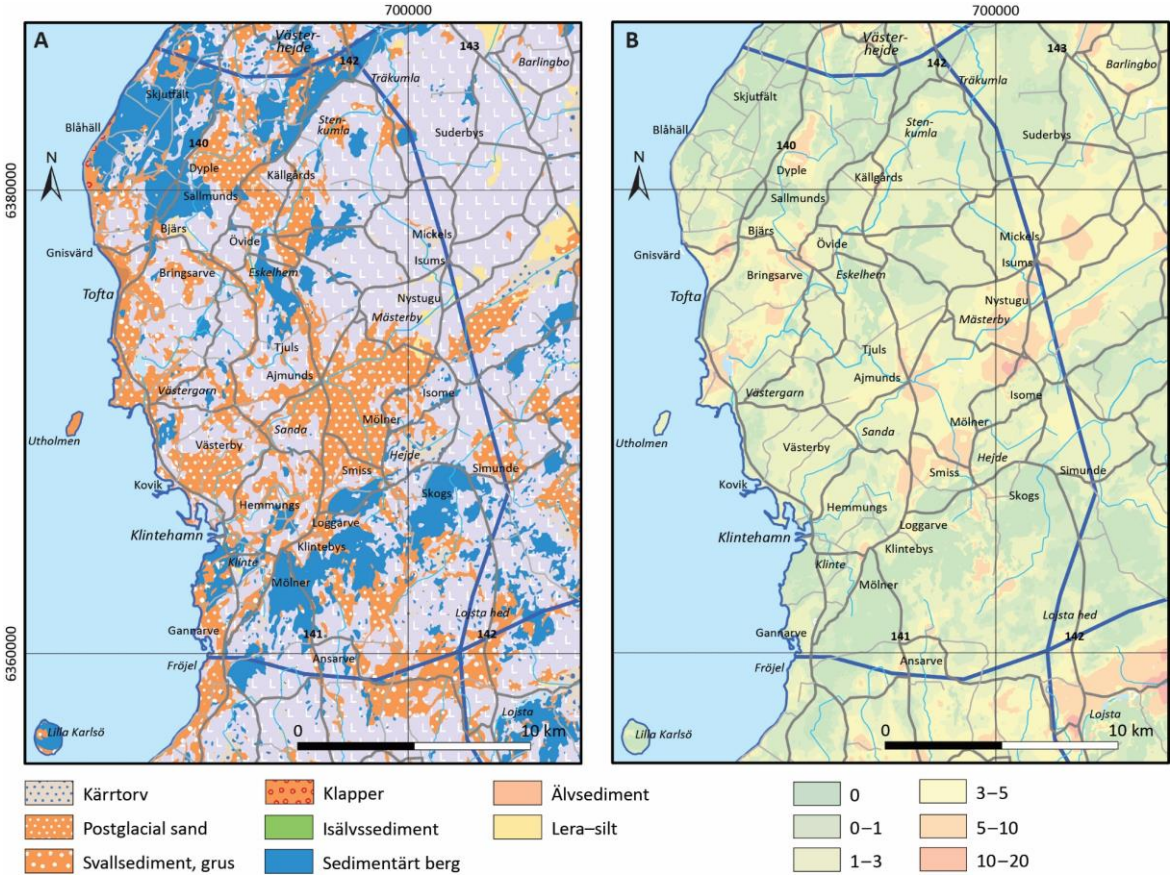
Terrängläge och geologisk översikt

Området *Tofta-Klintehman* sträcker sig längs den västra kusten från Gannarve och Alstäde i söder till Martille strax norr om Stenkumla och motsvarar utbredningen av grundvattenförekomsten Mellersta Gotland–Klintehamn (fig. 21, fig. 19).

Vanligt förekommande jordart i markytan är moränmärgel och svallsand (fig. 47A). På några få ställen finns smärre ryggar som kan klassificeras som isälvsavlagringar, men som till stora delar svallats.

Markanvändningen domineras av skogsbruk i områden med hällmark och åkermark i morän-områden och områden med något större jorddjup (fig. 47B).

I områden kring Tofta och Klintehamn finns en relativt omfattande utbredning av större jord-mäktigheter (fig. 47B), vilket kan hänga samma med förekomsten av märgelsten (fig. 48A). Större jorddjup ses bland annat väster om Eskelhem, söder om Mästerby och väster om Hejde (fig. 47B). Inom *Tofta–Klintehamn* finns en del områden med torv men de är ytmässigt relativt begränsade (fig. 47A). Torven vid Hällingsmyr i den norra delen, kan sannolikt ha skapats till följd av utläckande grundvatten då grundvattenytan står relativt högt i området (fig. GVN). Längre söderut vid Bromyr, Fugelmyr och Langmyren är torven sannolikt mer av igenväxnings-karaktär.



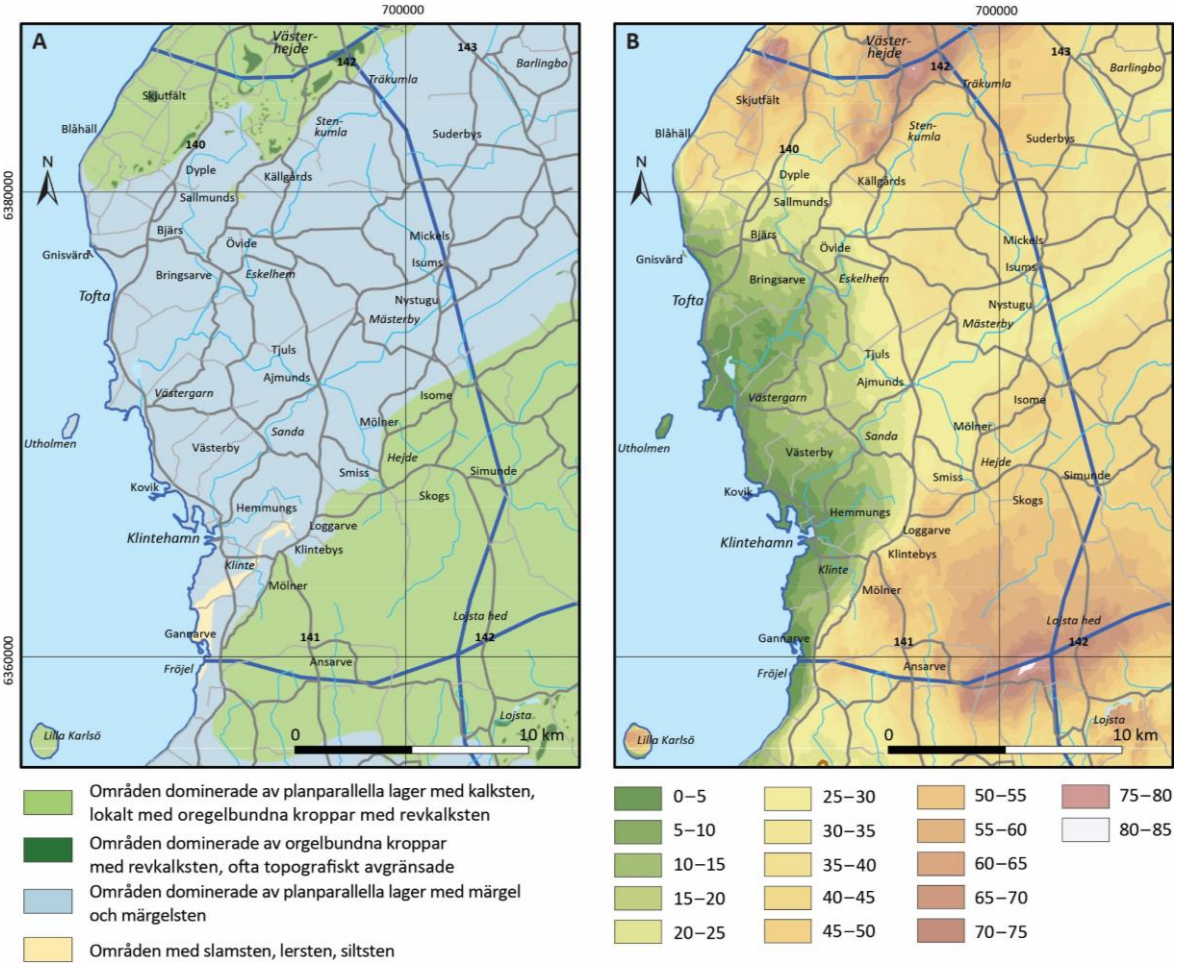
Figur 47. A. Jordartskarta över *Tofta–Klintehamn*. **B.** Jorddjupskarta över *Tofta–Klintehamn*.

Berggrunden i området består i de centrala delarna av märgelsten medan det i norr och söder består av fragment- respektive revkalksten (fig. 48A). I de södra delarna av *Tofta–Klintehamn* finns en siltsten som benämns Fröjelformationen (fig. 48A). Siltstenen är av ringa mäktighet och relativt tät så dess hydrogeologiska betydelse är ringa.

I de norra högre liggande delarna (fig. 48B) finns områden med frekvent utbredning av karst. Vid Stenkumla finns ett utbrett system med karstgrottor på flera tiotals meter. De två kalkstensdominerade områdena i norr respektive söder utgör höjdområden, och området med märgel mellan dem är låglänt (fig. 48B). Längs denna kuststräcka saknas klintar och den mjukare berggrunden är eroderad. Centralt finns en topografisk lågnivå i vilken det rinner en kanal som delvis är utsprängd i det ytliga berget (fig. 48B, fig. 49).

Ön Utholmen är en flack låglänt ö som ligger cirka 1,2 km öster om Kronholmen och består av märgelsten och strandvallar av sand och grus (fig. 48). Ön är ett naturreservat och Natura 2000-område.

Cirka två kilometer öster om Klintehamn ligger Klintebys och Snögrinde kalkbrott. Flera dokument rörande den geologiska uppbyggnaden och hydrogeologin i området finns i Svenska Mineral AB:s (SMA 2021) täktansökan.



Figur 48. A. Berggrundskarta över *Tofta–Klintehamn*. **B.** Höjddata över *Tofta–Klintehamn*.

Hydrogeologiska förhållanden

Huvudströmriktningen för grundvattnet är västerut mot havet. Grundvattennivåerna ligger som högst i höjdområdena i norr och i söder (fig. 8B). Lokalt i området skapar berggrundöverytan tråg i landskapet inom vilka det bedöms ske en ytlig avrinning och ett mer ytligt grundvattenutflöde mot vattendragen (fig. 48B). Ett sådant exempel är längst i norr där grundvattnet bedöms strömma söderut för att senare avledas ut mot havet. Ett annat låglänt område är den topografiska sänka som finns centralt inom *Tofta–Klintehamn*. I anslutning till denna dal finns eventuellt en rörlig grundvattendelare mot *Roma–Gothem* någonstans i närheten av Atlingbo (fig. 8B).

Inom området ses en relativt stor variation i berggrundens genomsläpplighet (se fig. 11) vilket delvis kan bero på berggrundsförhållanden och på förekomsten av karst som finns i kalkstens-dominerade högre liggande områden (fig. 48). Grundvattenförhållanden vid Tofta har beskrivits som mycket besvärliga med tät märgelsten som endast ger små mängder kloridhaltigt vatten (VIAK 1961). Vid Tofta har det även gjorts försök att anlägga brunnar i jordlagren utan att få till en bra vattentillgång.

Hydrogeologiska undersökningar har utförts avseende märgeln under Klintebys stentäkt. Där har slugtest visat på genomsläppligheten 1×10^{-7} m/s i den djupare liggande märgeln medans den ytligare kalkstenen visat sig sprickig och vattenförande i de 3–5 översta metrarna (SMA 2018a). Avrinning från området sker därför huvudsakligen som ytligt grundvatten och från topografiska höjder mot lägre liggande områden.

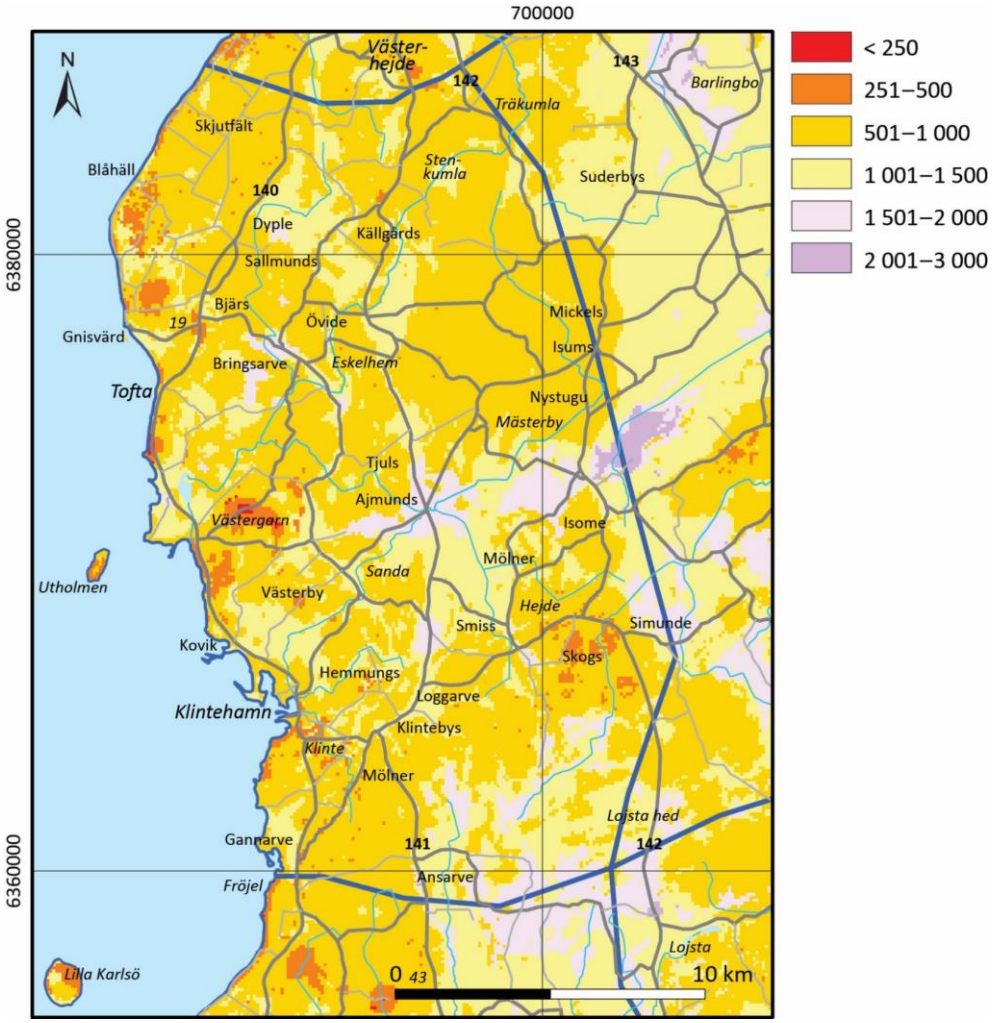
Figur 49. Nyrensad kanal vid Nystugu, foto mot västsydväst. Foto Peter Dahlqvist.

Uttagsmöjligheter

Lokalt inom området är magasineringsförmågan begränsande för uttagmöjligheten under torrår (Hjerne m.fl. 2021a). Det gäller bland annat i mindre områden i den nordligaste delen där jordlagren är tunnare (fig. 47B). Den till ytan vanligaste bedömningen av uttagsmöjligheten inom *Tofta–Klintehamn* ligger på 500–1 000 l/dygn/ha (fig. 50). Lägst grundvattentillgång (<500 l/dygn/ha) bedöms finnas i områden med häll, till exempel vid Västergarn, Klintehamn och i norr vid Tofta Skjutfält. Vad gäller faktiska erfarenheter visar äldre vattentäktsundersökningar i Toftaområdet på mycket besvärliga förutsättningar för vattenuttag (VIAK 1961).

Relativt goda uttagsmöjligheter bedöms finnas i områden kopplade till större jorddjup (fig. 47B) som vid Smiss och Mölner och vidare upp mot Ajmunds och västerut (fig. 50). Här är bedömningen 1 500–2 000 l/dygn/ha. I dessa områden saknas dock verifierande undersökningar som stärker bedömningen.

Ett annat område med relativt sett större bedömda uttagsmöjligheter är i trakterna vid Eskelhem. Här sker vattenuttag ur berggrunden i platser där det också finns strandvallar som stärker magasineringsförmågan och därmed också uttagmöjligheten. Dessa områden har även lyfts fram i som möjliga områden för förstärkt grundvattentillgång tack vare bland annat tillgången på ytvatten i närområdet (Dahlqvist m.fl. 2017b).



Figur 50. Karta över grundvattentillgång uttryckt som liter/dygn/ha, inom området *Tofta–Klintehamn*.

Även vid Loggarve sker uttag ur berggrunden vilket ger kunskap om områdets uttagsmöjligheter. Uppgifter om uttaget under åren 2013–2015 visar på ett medeluttag på cirka 130,3 m^3/dygn (SGU 2017). Samtidigt ger en vattendom för samma plats från 1973 rätten att utvinna 700 m^3/vatten per dygn i genomsnitt. Tyvärr saknas dock de underlag som ligger till grund för domstolsbeslutet (SGU 2017).

För att säkra vattenförsörjningen till Klintehamns samhälle och livsmedelsindustrin anlades en grundvattendamm i Loggarve sommaren 1964 (SMA 2018a). Denna grundvattenförsedda damm finns kvar än idag, och hade en volym på ca 9 000 m^3 och enligt utredningen kunde man under högsommarperioden utvinna 500 m^3/dygn, vilket visar på en bra tillrinning även sommartid. Ytterligare söderut vid Mölner har provpumpningar visat på uttagsmöjligheter på 55 l/minut utan påtaglig saltpåverkan. Vid högre uttag (90 l/minut) har uttaget gett ett saltvatten (SMA 2018a).

Anslutande ytvatten

I den norra delen avvattnas området av vattendraget Idå. Baserat på grundvattennivåerna i området (fig. 8B) bedöms vattendraget främst kunna vara dränerande för grundvattnet i avsnittet från Liffedarve och vidare västerut mot havet. Vid Eskelhem passar vattendraget en större strandvall och här sker möjligen en viss infiltration av ytvatten ner i underliggande jord- och berggrund (Dahlqvist m.fl. 2017b; fig. 51). Idå rinner ut i Paviken som är ett naturreservat och ligger strax söder om Tofta. Paviken är en liten igenväxt sjö som tidigare utgjordes av en avsnörpt havsvik.

I den södra delen rinner Varbosån. Varbosån som avvattnar stora områden med moränlera och svallsand. Strax uppströms det att Varsboån rinner ut i havet, norr om Klintehamn, passerar vattendraget ett område med grovt friktionsmaterial (fig. 47A). Här kan möjligen delar av ytvattenflödet, beroende på aktuell grundvattennivå, infiltrera ner i det underliggande grus-materialet.

Figur 51. Idån nedströms bron öster om Bringsarve. Foto: Peter Dahlqvist.

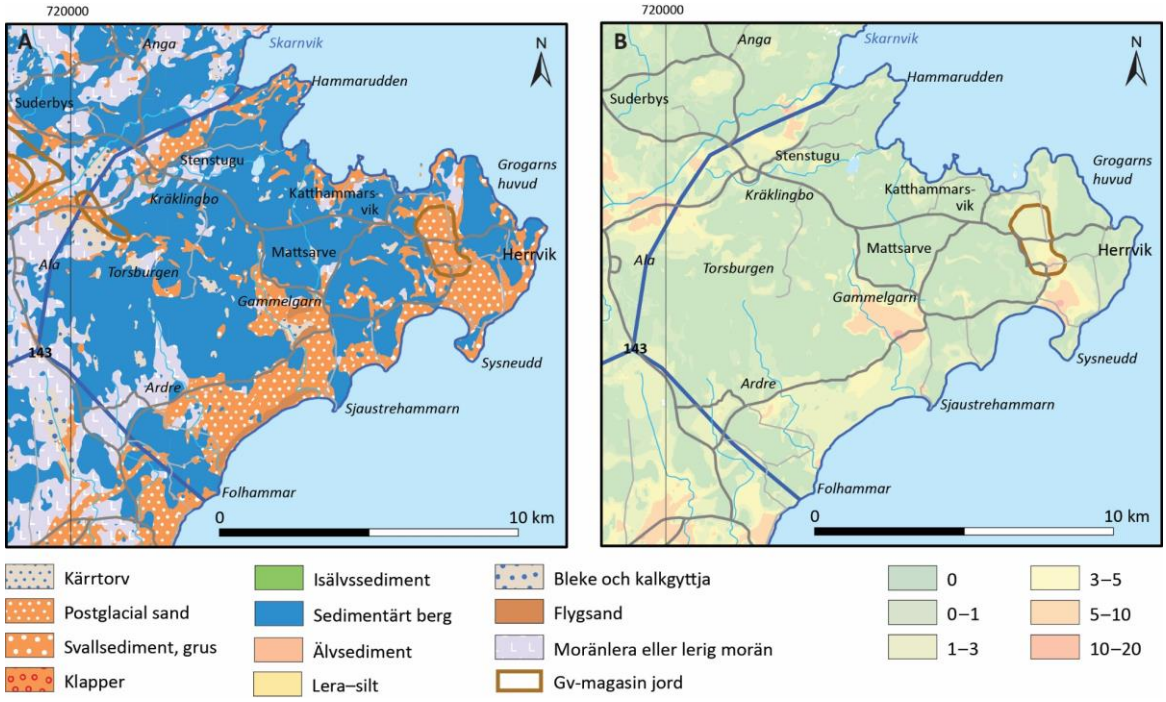
Östergarnslandet

Terrängläge och geologisk översikt

Östergarnslandet är en större landtunga på Gotlands östra sida som på ömse sidor omges av Östersjön. Området ingår som en del i de två grundvattenförekomsterna Mellersta Gotland–Roma och Sydöstra Gotland– Ljugarn (fig. 19), men beskrivs här som ett eget område på grund av dess avvikande geologiska förutsättningar och begränsade uttagsmöjligheter. I norr går den tillämpade gränsen i höjd med Garnudden och i söder vid Folhammar (fig. 21). Inom området ligger även grundvattenförekomsten SE637068-732429 i sand- och grusavlagringar (fig. 19).

Markanvändningen på Östergarnslandet utgörs till största del av skogsbruk följt av jordbruk där åkermarken främst är knuten till områden med svallsand och morän (fig. 52A). Jordtäckena är nästan uteslutande tunna (fig. 52B) med undantag för vissa områden med postglacial sand där jorddjup på upp emot 15 m. Större jorddjup finns dels i ett stråk i Stormyr vid Gammelgarn, dels i ett område från Östergarns kyrka och söderut mot kusten vid Falhammars. På *Östergarnslandet* finns några mindre strandvallar (fig. 7) men dessa har begränsad jordmäktighet.

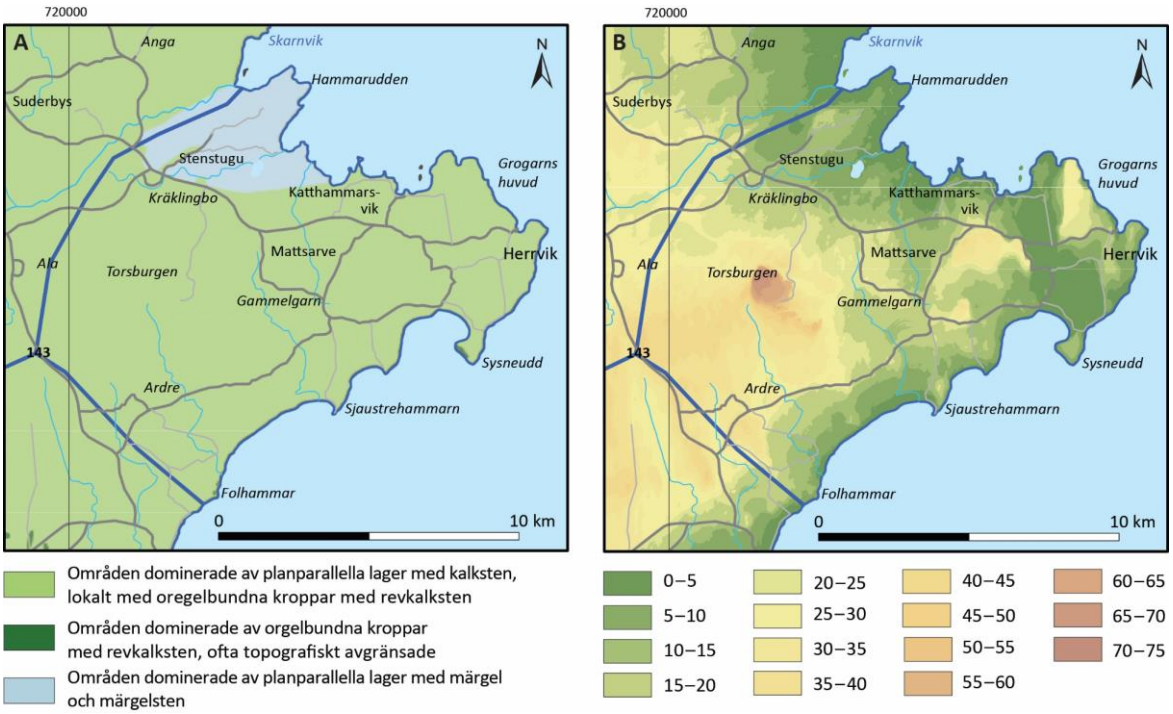
Berggrunden i området utgörs övervägande av kalksten i form avkalksten, ett visst inslag av märgel och märgelsten finns på Hammarudden i norr (fig. 53A). Området ligger högre i de västra delarna och sluttar österut, samt mot nord- och sydost, ett markant lågt liggande parti finns mellan Sysne och Vassmunds (fig. 53B).



Figur 52. A. Jordartskarta över *Östergarnslandet*. **B.** Jorddjupskarta över *Östergarnslandet*.

Vid Grogarnshuvud finns en markant kustklint som reser sig 30 m över havet (fig. 54). Inom området finns även Torsburgen, en av Gotlands högsta punkter (71 m ö.h.), som är en av öns största inlandsklintar och avgränsas av 10–25 m tvära stup. På Torsburgen finns såväl ytlig karst som större grottor, bland annat Burglädu som sägas vara över 15 m djup. På Torsburgen finns även tydliga strandvallar bestående av klapper och grus (fig. 7).

Karst finns framför allt i höjdområdena i de centrala delarna, söder om Ala vid områdets västra gräns har SGU utfört undersökning av karst (Erlström m.fl. 2022).



Figur 53. A. Berggrundskarta över *Östergarnslandet*. **B.** Höjddata över *Östergarnslandet*.

Figur 54. Kalkstensklippor vid Grogarnshuvud. Foto: Peter Dahlqvist.

Hydrogeologiska förhållanden

Östergarnslandet präglas av tunna jordlager och närhet till havet. Grundvattenströmningen sker från höjdområdena i de centrala delarna och ut mot havet i norr, öster och söder (fig. 8B).

Centralt på höjderna i området finns några mindre våtmarker med agbildning. Nedanför höjdområdena finns fler mindre källor, varvid vattnet trycker på från nybildningsområden högre upp i terrängen. Ett exempel är Gutenvikskällan nedanför klinten vid Katthammarvik som avvattnar kalkstenenshöjden söder därom.

Inom området finns viss förekomst av karst som lokalt kan vara av betydelse för vattentillgången. Precis väster om gränsen, vid Bjärges, har SGU utfört hydrogeologiska undersökningar av karstområden (Erlström m.fl. 2022). I området mellan Ala och Ardre, har SGU på uppdrag av Gotlands kommun genomfört geofysiska mätningar (Erlström & Persson 1998) med efterföljande borrningar och provpumpningar. Provpumpningarna visade relativt god kapacitet, dock höjdes kloridhalterna markant vid större uttag varför inga produktionsbrunnar anlades.

Under 1977 utfördes provpumpningar vid sandfältet mellan Östergarns kyrka och Grogarnsberget (fig. 55; Bergström 1987). Resultaten visade att sandområdet, i alla fall lokalt, innehöll äldre överlagrat organiskt material som försämrade vattenkvaliteten. Därtill har området tidigare varit en havsvik och risken för saltpåverkat grundvatten är stor.

Figur 55. Vy vid sandavlagringarna på östra Östergarnslandet. Foto: Peter Dahlqvist.

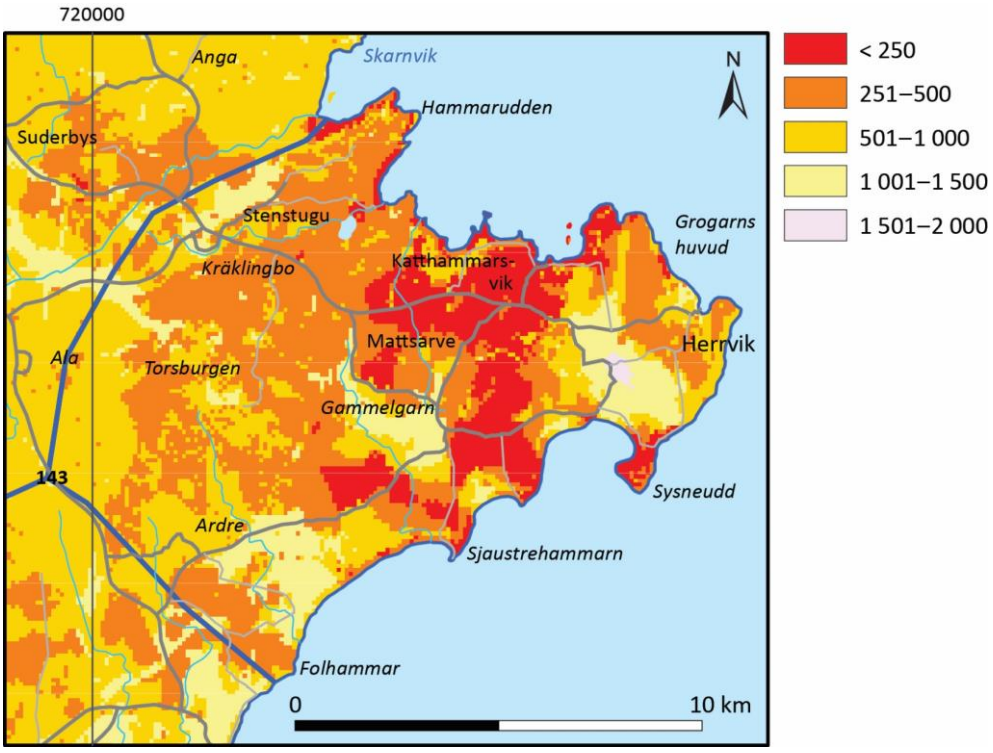
Uttagsmöjligheter

Östergarnslandet är ett av de områden på Gotland som har den lägsta uttagsmöjligheten (fig. 20). Två bidragande orsaker till den låga uttagsmöjligheten är det tunna jordtäcket i kombination med en låg genomsläpplighet i berggrunden (fig. 11), vilka begränsar magasineringsförmågan (Hjerne m.fl. 2021a). Grundvattentillgången bedöms i stora delar till mindre än 500 l/dygn/ha och i vissa delar till och med mindre än 250 l/dygn/ha (fig. 56).

De högsta bedömda uttagmöjligheterna inom *Östergarnslandet*, såväl i jord som i berg, återfinns i stråket med sand och grus mellan Östergarns kyrka och söderut mot kusten vid Falhammars (fig. 56). Delar av denna sandavlagring är föreslagen att bli utpekad som grundvattenförekomst inom vattenförvaltningen (fig. 19). Grundvattentillgången i berggrunden är här lokalt bedömd till 1 501–2 000 l/dygn/ha, vilket visar på vikten av ovanliggande mäktiga sorterade jordlager. Dock finns det risk för saltvattenpåverkat grundvatten då områdena ligger både lågt (fig. 53B) och nära havet. Därtill finns som omnämnts ovan, risk för påverkan av äldre organiskt material (Bergström 1987).

Anslutande ytvatten

Inom *Östergarnslandet* finns inga större sjöar eller vattendrag utan endast mindre diken och några agmyrar. Det finns därför heller inga utpekade ytvattenförekomster inom vattenförvaltningen. Ett antal källor finns i anslutning till Östergarnsberget varav Gutenvikskällan (fig. 52A) har ett relativt stort flöde och den har tidigare använts för dricksvattenförsörjning och nyttjas idag som hämtställe. Russvätar är ett Natura 2000-område med tre större våtmarksområden som dock torkar ut på somrarna.



Figur 56. Karta över grundvattentillgång uttryckt som liter/dygn/ha, inom *Östergarnslandet*.

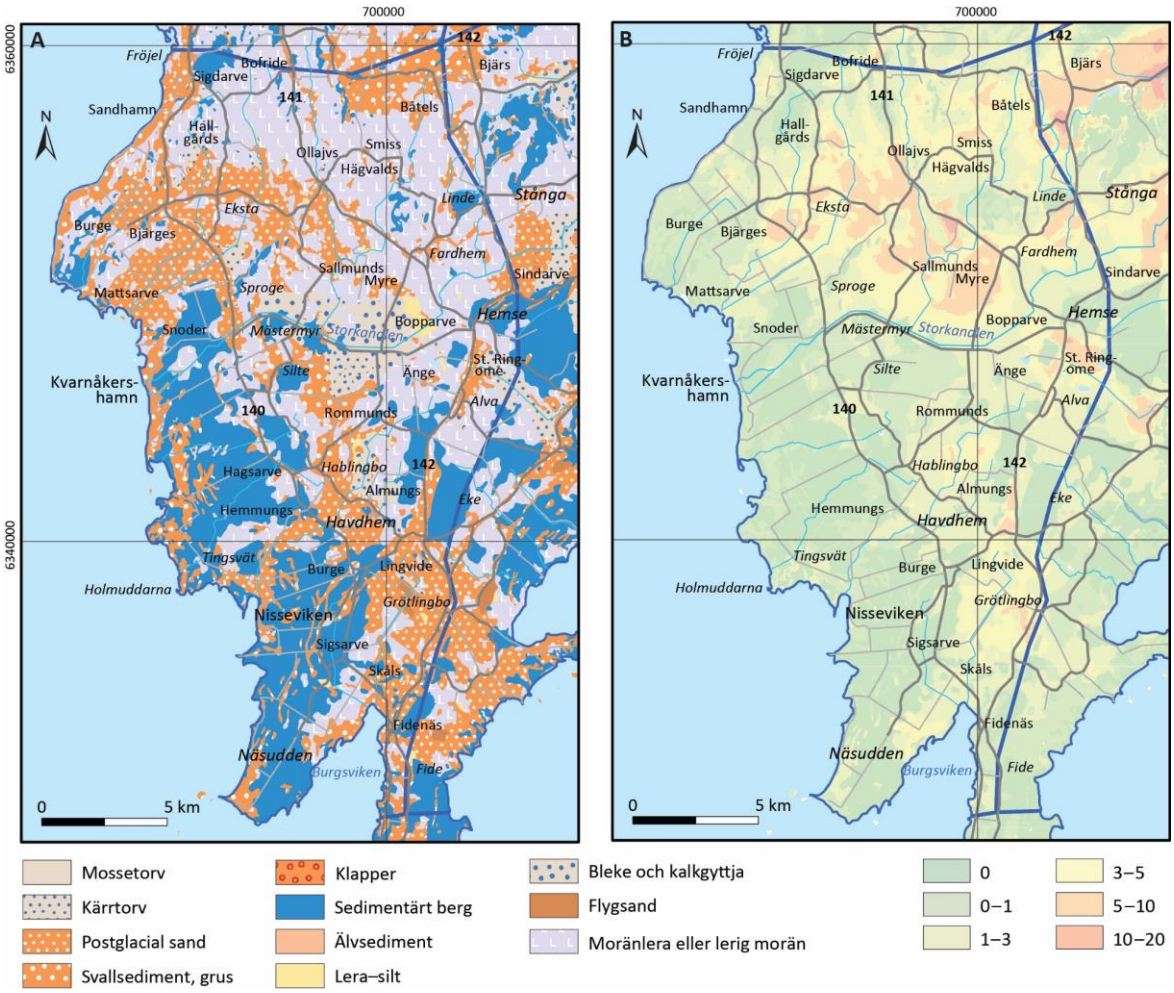
Ekstа–Havdhem

Terrängläge och geologisk översikt

Området sträcker sig från höjderna vid Lojsta Hed i nordost ner till näset mot Sudret i söder, och in mot Hemse centralt på ön (fig. 21). Området motsvarar grundvattenförekomsten ”Sydvästra Gotland–Havdhem” (fig. 19), förutom delen ute på *Storsudret* som beskrivs i ett eget avsnitt. Generellt består markanvändningen av skogsbruk i de norra och västra delarna, medan åkermark dominerar i öster och ute på Näsudden.

Den norra delen av *Eksta–Havdhem* domineras av moränlera och svallsand med inslag av torv och något mäktigare jordlager finns i den norra delen med jorddjup på upp till 10 m vid bland annat Levide och Eksta. Även i den södra delen finns relativt stora utbredningar av svallsand men här är utbredningen med moränlera betydligt mindre och jordtäckena i regel tunnare. I sydväst saknas i stora delar jordtäcket helt (fig. 57).

Mellan Hablingbo och Sproge sträcker sig en längre större strandvall, en littorinavall, som också underlagras av äldre grus avsatt i samband Yoldiahavet (fig. 57A, fig. 7). Strandvallen fortsätter sedan norrut, förbi Fröjel, och omgärdas där på bägge sidor av mäktigare jordlager som i ytlagren ömsom utgörs av svallsand och ömsom av moränlera.

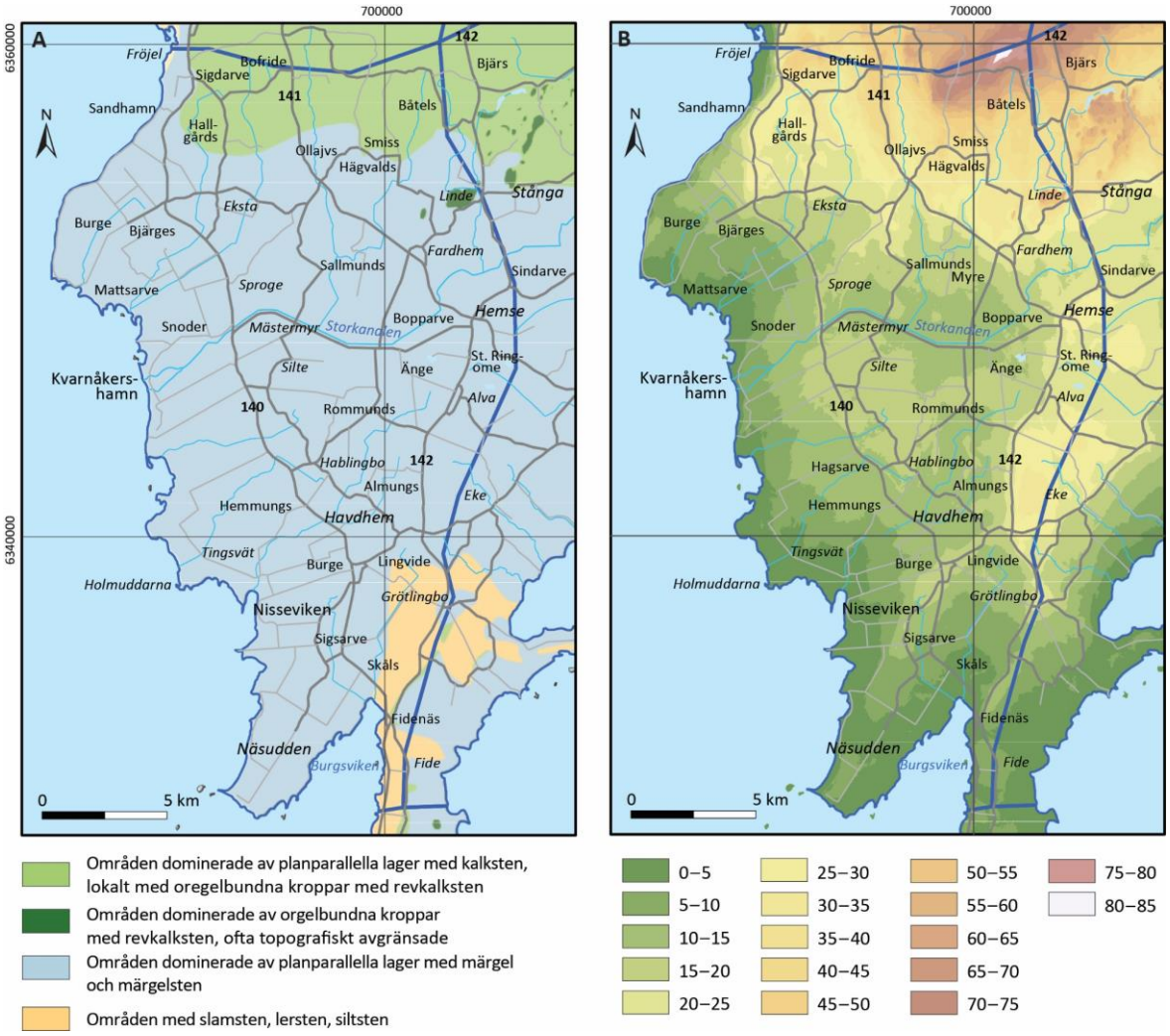


Figur 57. A. Jordartskarta över *Eksta–Havdhem*. **B.** Jorddjupskarta över *Eksta–Havdhem*.

I området innanför strandvallen i höjd med Snoder och Silte, finns Mästermyr, ett större och till stora delar utdikat myrmarksområde. Före utdikningarna, som skedde under början av 1900-talet, fanns där betydligt större myrmarksområden än idag samt en större öppen vattenyta. Myren består av torv, gyttja, kalkgyttja och bleke (Munthe m.fl. 1927). Genom myrmarksområdet passerar Storkanalen, i vissa delar kallad Mästermyrkanal respektive Snoderån. Kanalen har sin början längre österut (se avsnitt *Ljugarn–Stånga*).

Berggrunden utgörs övervägande av märgelsten, men i de norra delarna finns kalksten och i de södra delarna sandsten tillhörande Burgsviksandstenen (fig. 58A). Området är förutom i de nordliga och östra delarna låglänt vilket delvis tolkas bero på att berggrunden domineras av lättvittrad märgelsten (fig. 58B).

Utanför kusten ligger öarna Lilla och Stora Karlsö som består av både lagrad kalksten och revkalksten, och på Stora Karlsö även märgelsten. Båda öarna har branta klippkanter och såväl ytlig karstförekomst som större kustgrottor och raukar. Lilla Karlsö har sin högsta punkt 66 m ö.h. och Stora Karlsö 42 m ö.h. Jordlagren är tunna och består nästan uteslutande av svallad sand och grus, samt klapper. På Stora Karlsö finns även en mindre myr där en av de gamla vattenförsörjningsbrunnarna på ön fanns.



Figur 58. A. Berggrundskarta över *Eksta–Havdhem*. **B.** Höjddata över *Eksta–Havdhem*.

Lindeberget är en markant höjd norr om Linde kyrka med upp mot 30 m skillnad i topografi (fig. 58B). Längs Lindebergets norra kant fanns tidigare en sjö som stod i kontakt med Lojsta-sjöarna som beskrivs i avsnitt *Hemse-Stånga*.

Hydrogeologiska förhållanden

Från Lojsta Hed i den nordöstra delen av området, är grundvattnets huvudsakliga strömnings-riktning riktad mot sydväst (fig. 8B) och områden kring Sprogeån och Storkanalen. Flera små vattendrag startar uppe på Lojsta Hed i olika källsprång och källmyrar, dock är många av dem torrlagda delar av året (fig. 59) I områdena söder om Storkanalen däremot, är strömnings-riktningen främst riktad västerut mot Östersjön (fig. 8B).

I gränsområdet till området *Ljugarn–Stånga* finns i berggrunden ett stråk med större grundvatten-tillgång vid Lojsta Hed. Detta område består av en höjdplatå (fig. 58B) på cirka 6 × 10 km och har undersökts längre tillbaka genom ett flertal rekognoseringsborrningar och provpumpningar i området (se VIAK 1973, 1982). På senare tid har delar av området pekats ut som extra intressant baserat på geofysiska mätningar såväl helikopterburna som markbaserade (Dahlqvist m.fl. 2015, Erlström & Persson, 1998). Från sammanställningen i VIAK 1982 framgår att de provpumpningar som utförts stödjer bilden att det inom området finns ett sprickmagasin i form av en kanal-sträckning i SV–NO riktning. Området bedöms vara minst 8 km i längsled och drygt 1 km brett.

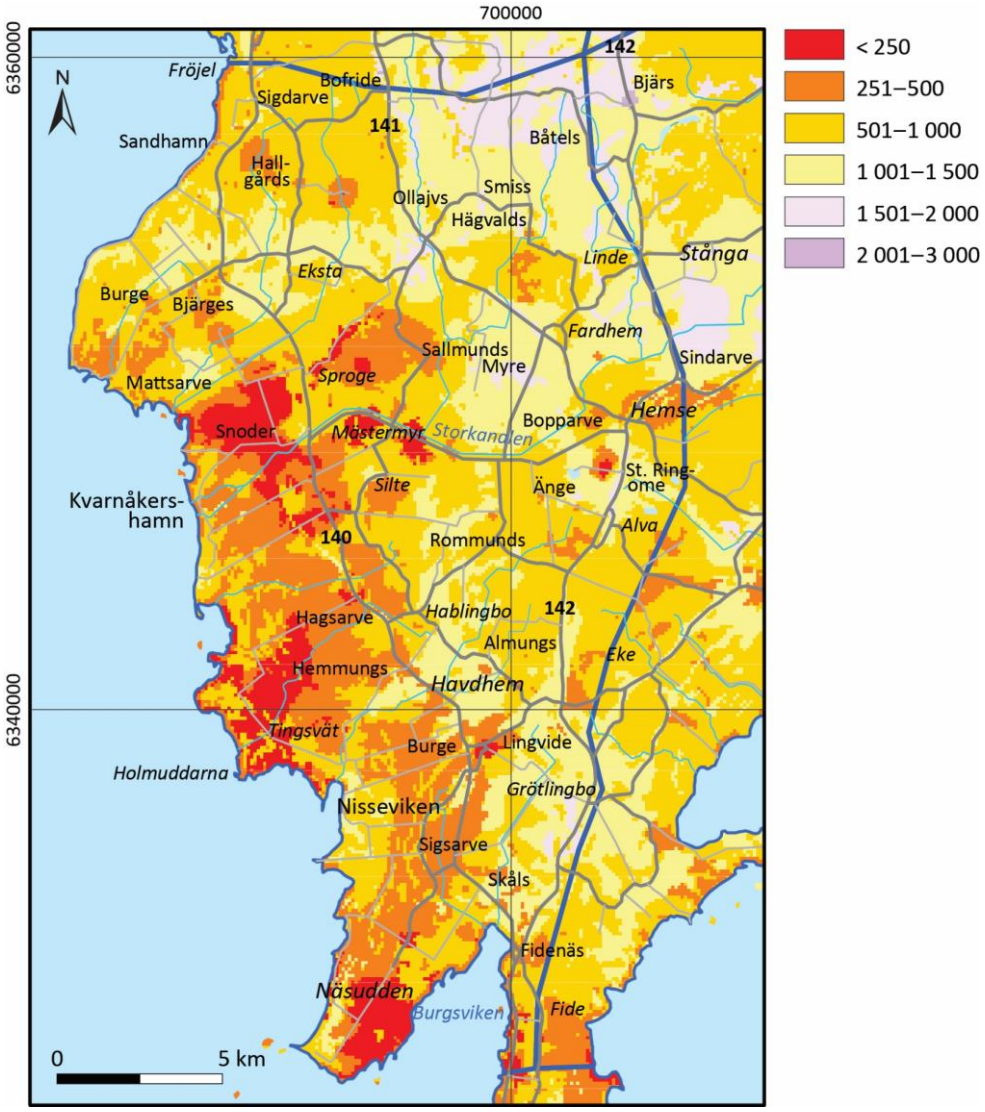
De flesta sandavlagringarna i området är relativt tunna och grundvattenmagasinen i jord därmed av ringa storlek eller saknas helt. Strandvallen mellan Hablingbo och Sproge och vidare norrut mot Fröjel ökar magasineringsförmågan. En ingående redogörelse för de hydrogeologiska förhållandena i anslutning till strandvallen där den korsas av kanalen framgår i Norlin 1964. Denna utredning utfördes inför en fördjupning av Mästermyrkanalen. Då utförda nivåmätningar visar på en gradient mot kanalen som bedöms bero både av kanalens dränerande effekt men på att kanalens läge sammanfaller med en depressions i berggrunds- och moränöverytan. Av utförda borrningar och grävningar framgår en skillnad i lagerföljd väster respektive öster om vallen med

Figur 59. Källmyr och uttorkat vattendrag vid Mallgårds källmyr. Foto: Peter Dahlqvist.

förekomst av torv och tätande gyttja på vallens östra sida som inte förekommer väster om vallen där det istället förekommer skikt av flygsand (Norlin 1964). De tätande lagren kalkgyttja gör att det i vissa delar råder täta grundvattenförhållanden. Att de stora kanalerna påverkat magasinerings-förmågan på grundvatten även i områden nedströms de utdikade myrmarkerna framgår också i en skrivelse från 1951 (SGU 2022).

Uttagsmöjligheter

De tunna jordlagren i områdets centrala och södra delar gör att det främst är den magasinerande förmågan som är styrande för grundvattentillgången (Hjerne m.fl. 2021a). I områden i den norra delen, där jordtäcket (fig. 57B) och därmed också magasinerings-förmågan är större, råder något bättre uttagsmöjligheter på över 1 000 l/dygn/ha (fig. 60). I områden med svallsand med större mäktighet, tex. vid Hablingbo, ligger ibland svallsanden direkt på berggrunden vilket skapar ökad lokal uttagsmöjlighet (se avsnitt *Kalksten och märgel med överlagrande sand- och grusavlagringar*). Här finns områden där brunnens kapacitet kan bli styrande för hur mycket vatten som kan tas ut ur en bergborrad brunn.



Figur 60. Karta över grundvattentillgång uttryckt som liter/dygn/ha, inom *Eksta–Havdhem*.

Stora delar av Eksta–Havdhem tillhör de områden på Gotland med lägst hydraulisk konduktivitet i berggrunden enligt SGU:s sammanställning av brunnsdata (fig. 11). Det är framför allt de västra delarna där grundvattentillgången bedöms vara under 500 l/dygn/ha (fig. 60).

Generellt gör den märgeldominerade berggrunden (fig. 58A) att större långvariga uttag från berggrunden är svåra inom området. Flera mindre vattentäkter i berg, och även schaktbrunnar i jordlagren men uttagsmöjligheten har varit relativt blygsam (Bergström 1987). Även vid Sproge har det längre tillbaka beskrivit som det är svårt att anskaffa vatten (VIAK 1950). Lokalt är uttagsmöjligheten i berg bättre vid Stora Ringome strax norr om Alva (VIAK 1962). Här stärks sannolikt vattentillgången av de lokalt större jorddjupen som ger en större magasineringsförmåga.

Anslutande ytvatten

De två större vattendrag som avvattnar området är de ovan nämnda Storkanalen (fig. 61) och Snoderån samt Sprogeån. Delar av flödet i Storkanalen kommer ända uppifrån Lojstasjöarna som ligger i området Hemse-Stånga. Strax väster om Hemse sker även en stor tillförsel av vatten till kanalen från reningsverksdammarna vid Ringome. Snoderåns vattenråd har sammanställt en publikation om Snoderåns avrinningsområde (Hjernqvist 2014).

Mästermyr är, som ovan nämnts, idag ett till stora delar utdikat myrmarksområde. Innan utdikningen fanns här en öppen vattenyta på över 3 km^2 och totalt bedöms myren ha varit cirka 27 km^2. Studier av inverkan av uppdämning av grundvattenstånd i och i närheten av Mästermyr har utförts av Segerros (1987). Kanalen är grävd och sprängd ner i berget och är på sina ställen över 10 m bred. I kanalen finns flera dämmen varav ett ersattes under 2021 med ett reglerbart dämme för att bättre kunna reglera vattenföring i kanalen och grundvattennivåerna uppströms (LRF 2021).

Området dominans av märgel (fig. 58A) vilket gör att nederbörden har svårare att infiltrera i marken och vid nederbördsperioder går de rätade och djupa dikena med höga flöden.

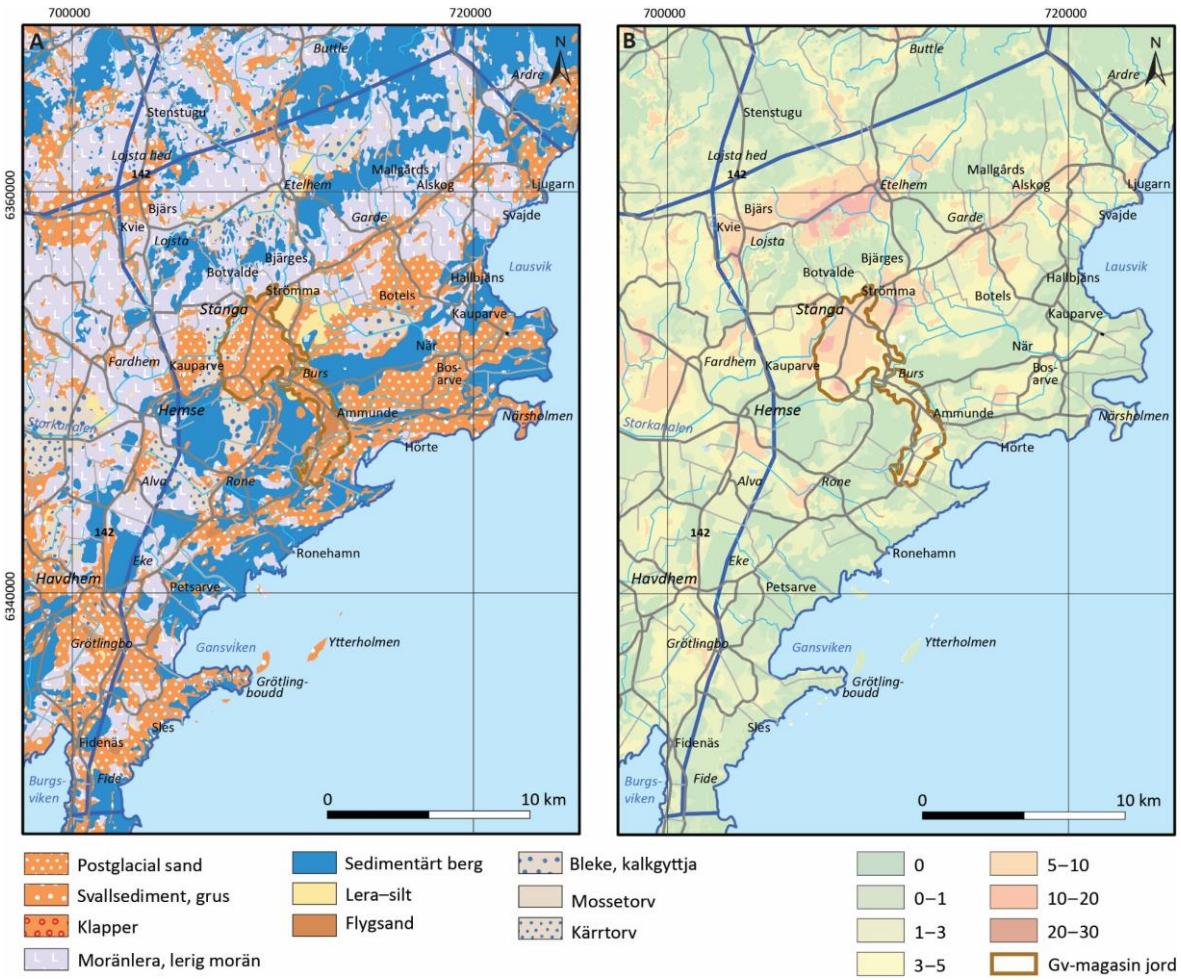
Figur 61. Storkanalen strax söder om Sproge, foto mot väst. Notera växellagrande sekvenser med mörk lermärgel och ljusare kalkstenslager. Foto: Magdalena Thorsbrink.

Ljugarn–Stånga

Terrängläge och geologisk översikt

Området *Ljugarn–Stånga* omfattar de sydöstra delarna av Gotland från Lojsta och Eke i väster till Vitvär, När och Västerby i öster (fig. 21). Området motsvarar grundvatten-förekomsten Sydöstra Gotland–Ljugarn (fig. 19) förutom delarna ute på *Storsudret* respektive på ute på *Östergarnslandet* som beskrivs i två separata avsnitt. Här finns även grundvattenförekomsterna Stånga och Burs i sand- och grusavlagringar (fig. 19).

Mest karakteristiskt för området är ett flertal längre sammanhängande strandvallar som i vissa delar också ansluter till mer utbredda sandområden (fig. 62A). I vissa delar är sanden ren finsand. I området finns övervägande tunna jordtäcken men också områden med mäktigare jorddjup på över 15 m (fig. 62B). I flera fall är det lagerföljder med mycket lera som vid till exempel Lojsta-träsken medan det vid Västerlaus och Stånga är mestadels sand och grus med 10–15 m mäktighet (Dahlqvist m.fl. 2017a). Områdena med tunnare jord-täcken återfinns i sydväst–nordostliga stråk med mer svårvittrad kalksten som bidrar till att valla in landskapet, vilket gett upphov till några naturligt invallade våtmarker.

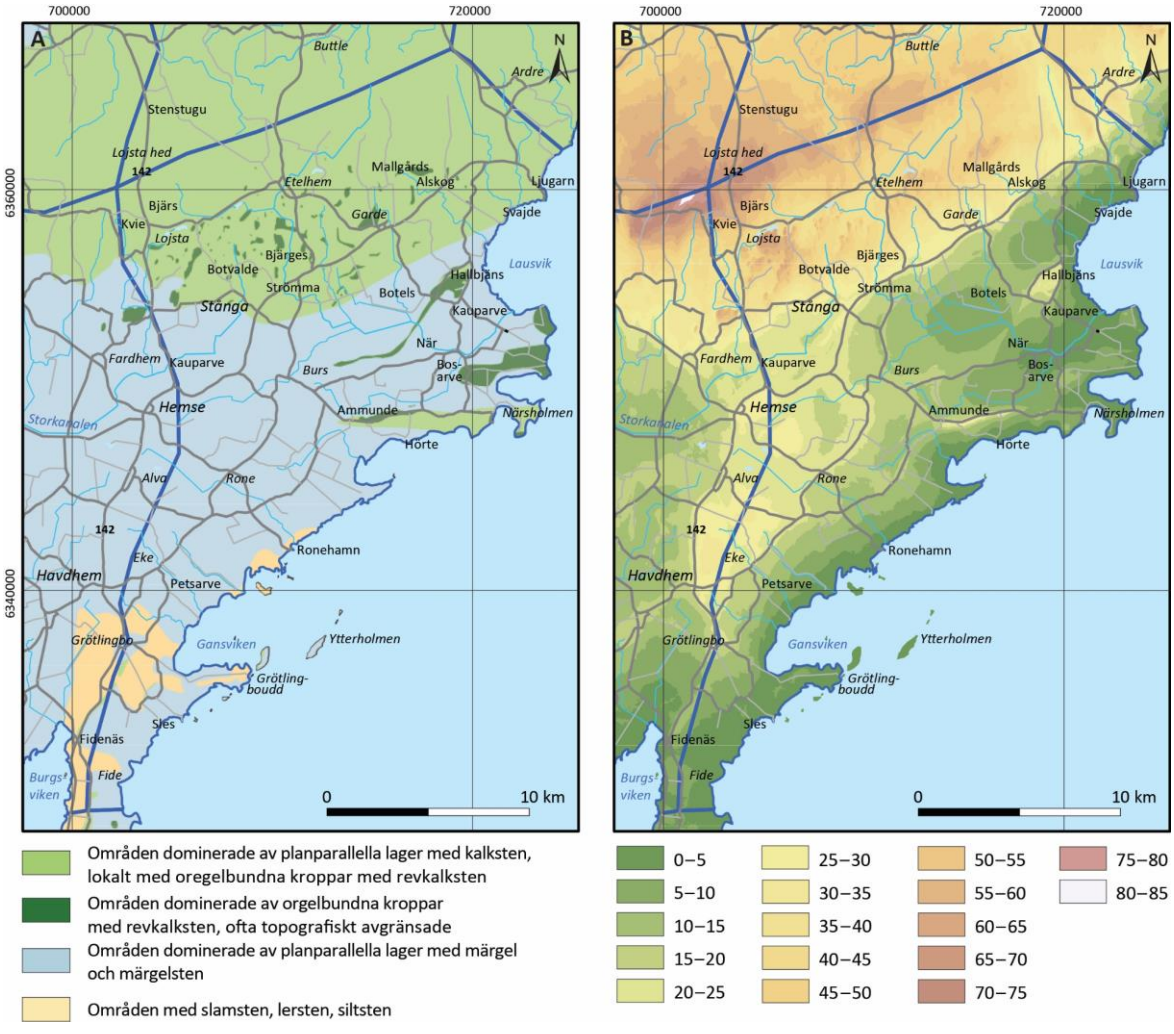


Figur 62. A. Jordartskarta över *Ljugarn–Stånga*. **B.** Jorddjupskarta över *Ljugarn–Stånga*.

I de norra mer höglänta områdena dominerar skogsmark medan det är mer odlingsmark söderut, framför allt i områden med större jorddjup (fig. 62B). I de södra delarna nära kusten är det mycket öppen och karg mark, företrädesvis med häll (fig. 62A). Strandvallar finns bland annat längs vägen mellan Ava, Hemse, Stånga, Gärde och Alskog (fig. 64). Vid Stånga, Burs och När finns också större områden med utbredd svallsand, vid Stånga upp till 15 m (fig. 62A). De myrområden som finns är, bland annat Lausmyr och Ronemyr, båda med blekeutfällningar, samt Alvmyr och Stångamyren. Den postgalciala sanden var tidigare av betydelse för bland annat vattenförsörjningen på Ljugarn.

Berggrunden inrymmer stråk av märgelsten, stromatoporoidékalksten och medelkristalin kalksten. I norr finns tydliga revbildningar i de högre liggande områdena och längre österut breder märgeln ut sig i en mer låglänt terräng (fig. 63). I de södra delarna vid Ronehamn och Grötlingbo–Fidenäs finns Burgsviksandsten.

Topografiskt finns höjdområden mestadels i norr och delvis i väster vid Hemse och längs vägen söderut mot Storsudret (fig. 63B). De kustnära låglänta områdena består av märgelsten och ofta en flack kust. Höjdryggar vid Lau och Ammunde avspeglar bergartsförhållanden med mer motståndskraftig revkalksten (fig. 63A). Karst finns framför allt i höjdområdena i norr, vid Mallgårds har SGU utfört undersökning av karst (Erlström m.fl. 2022).



Figur 63. A. Berggrundskarta över *Ljugarn–Stånga*. **B.** Höjddata över *Ljugarn–Stånga*.

Hydrogeologiska förhållanden

De högsta grundvattennivåerna finns uppe vid Lojsta och Etelhem för att sedan falla mot havet i sydostlig riktning (fig. 8B). Det mer ytliga grundvattnet bedöms lokalt kunna hindras av stråken med kalksten vilket också sker med Närkån när den vid När byter riktning för att rinna åt nordost. Detsamma gäller Snoderån vars flöde först har en sydlig riktning, för att sedan vika västerut, lämna området och rinna in i det angränsande området *Eksta–Havdhem* via Storkanalen och slutligen ut i Östersjön på Gotlands västra sida (fig. 63B). På liknande sätt som på stora delar Gotland underlagras svallsanden i området av moränlera vilket försvårar vattenutbytet med berggrunden, men lokalt ligger sanden också direkt på kalksten eller märgel.

I gränsområdet till området *Eksta–Havdhem* finns i berggrunden ett stråk med större grundvattentillgång vid Lojsta Hed. Detta område består av en höjdplatå (fig. 63B) på cirka 6 × 10 km och har undersökts längre tillbaka i tiden genom ett flertal rekognoseringsborrningar och provpumpningar i området, (se VIAK 1973, 1982). På senare tid har delar av området pekats ut som extra intressant baserat på geofysiska mätningar, såväl helikopterburna som markbaserade (Dahlqvist m.fl. 2015, Erlström & Persson, 1998). Från sammanställningen i VIAK 1982 framgår att de provpumpningar som utförts stödjer bilden att det inom området finns ett sprickmagasin i form av en kanalsträckning i sydväst–nordostlig riktning. Området bedöms vara minst 8 km i längdled och drygt 1 km brett.

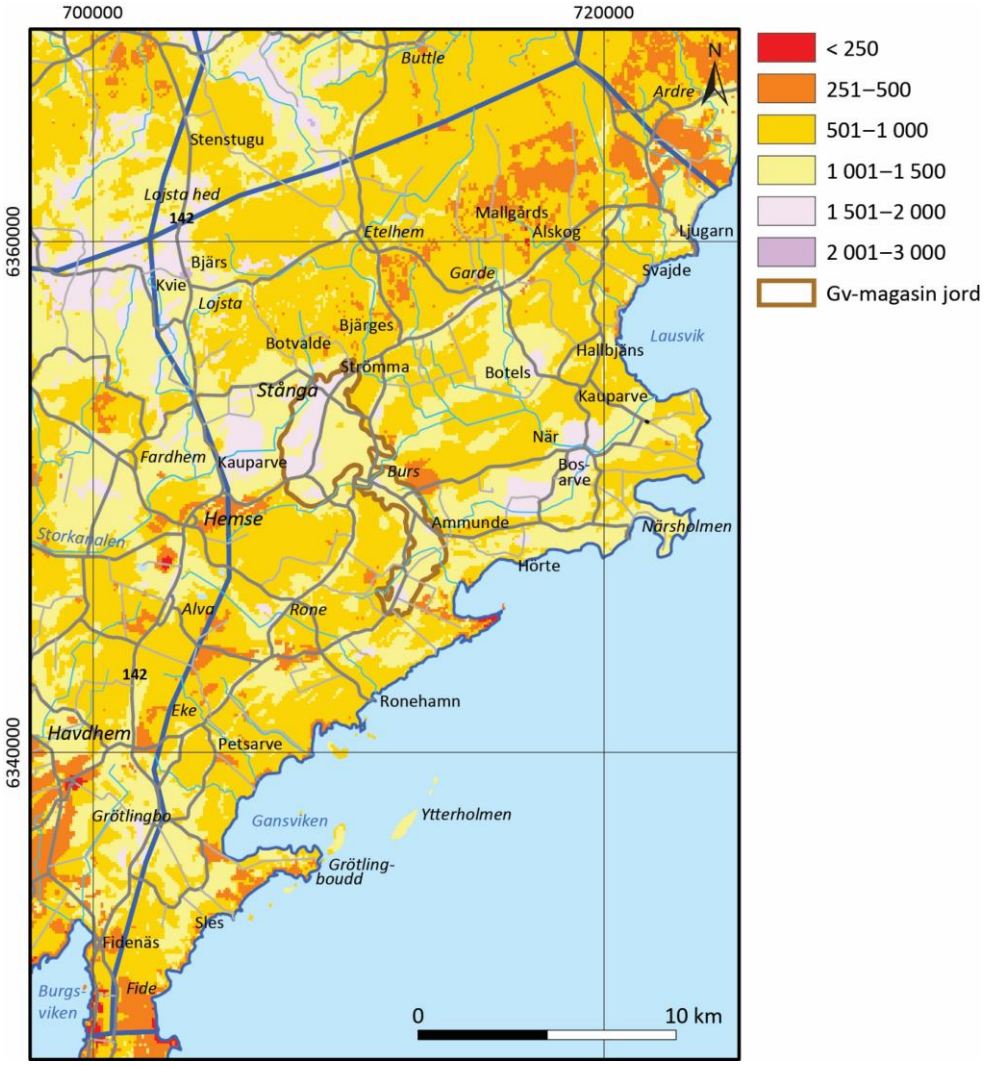
Vid Stånga finns en större isälvs- och svallsandsavlagring med en medelmäktighet på över 10 m (fig. 62B). Denna avlagring är troligen avsatt som en isälvsavlagring som sedan har svallats (Svantesson 2008). I den östra delen av avlagringen, där flertalet av brunnarna finns, har det tidigare skett sand- och grustäkt vid ett flertal ställen, i vissa fall ned till grundvattenytan. I en utredning av VIAK (1970) ges i bilagan lagerföljder för en stor mängd rör vars lägen man får fram via en senare utredning (VIAK 1976). Öster om Stångamalmen ligger Blantaremyr vars lagerföljd påverkats av källflöden från Stångamalmen (Munthe m.fl. 1927).

Figur 64. Strandvallsavlagring vid Alskog. Här fanns tidigare en vattentäkt med vattenskyddsområde. Foto: Magdalena Thorsbrink.

Grundvattenmagasinet i isälvsavlagringen står delvis i kontakt med grundvatten i den myrmark som flankerar malmen, vilket gör att man vid för stora uttag kan få på sig vatten som har höga humushalter (Dahlqvist m.fl. 2017). Kemidata från Stånga och Burs redovisas i Dahlqvist m.fl. (2020). I Dahlqvist m.fl. (2017a) utfördes en enklare geologisk 3D-modell med tillhörande hydrogeologisk modell för såväl jord- som berglager. Borrningar utfördes, bland annat i områden med mäktiga jordlager vid Stånga och Västerlaus. Trots mäktiga sand- och grusavlagringar var kapacitet i brunnarna inte större än 2 000–6 000 l/tim vilket tyder på att kontakten mellan grundvattenmagasinet i berg inte verkar ha så stor kontakt med grundvattenmagasinen i jord på lokal skala. Borrningarna gav saltpåverkat grundvatten på 36 respektive 65 m djup.

Uttagsmöjligheter

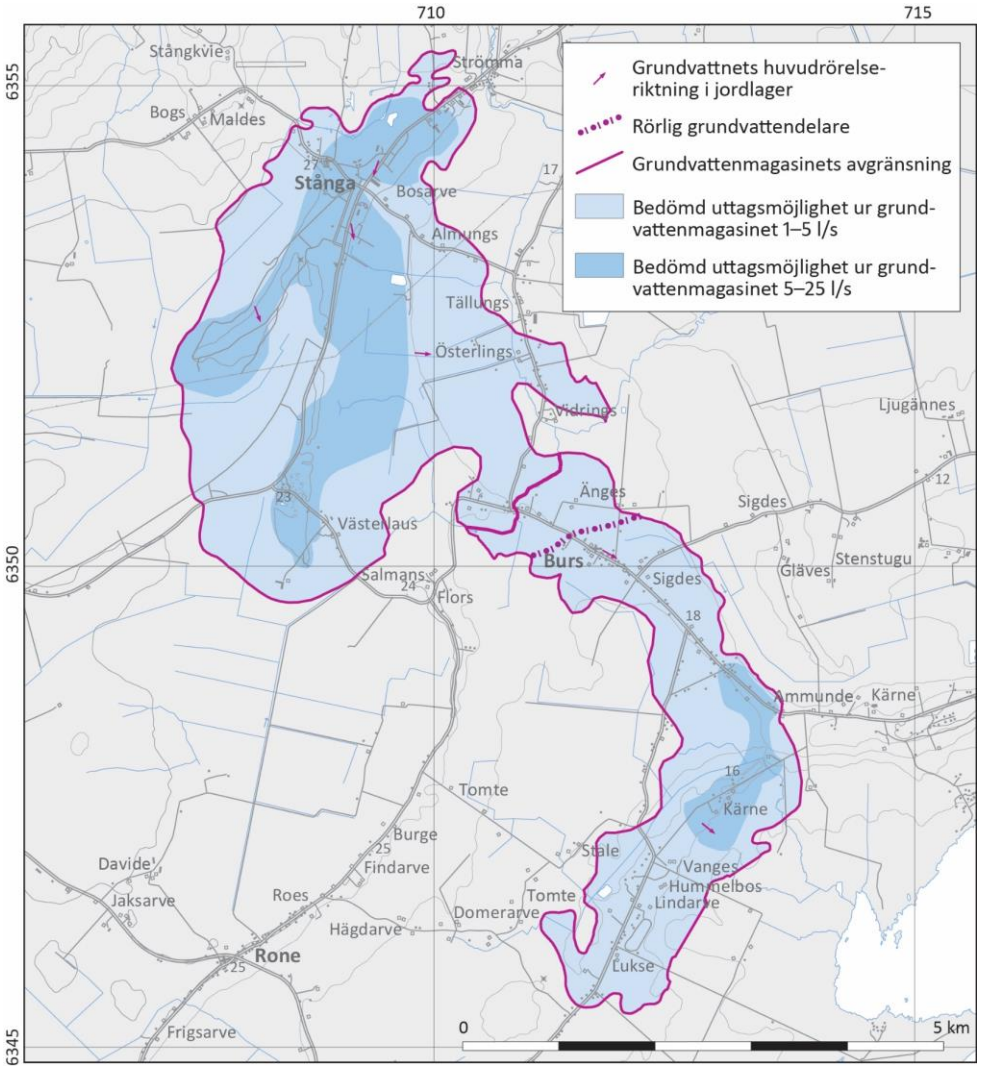
Uttagsmöjligheterna i berggrunden området är relativt goda och ligger i medeltal kring 501–1 000 l/ha/dygn (fig. 65). Lägst är den bedömda tillgången i nordöst i de delar som angränsar mot Östergarnslandet och sammanfaller ofta med häll och tunna jordlager. Bäst uttagsmöjligheter finns i områden med mäktiga jordlager i områden vid Stånga och När,



Figur 65. Karta över grundvattentillgång uttryckt som liter/dygn/ha, inom *Ljugarn–Stånga*.

samt i områdets nordvästra kant vid Lojsta (fig. 65). I berggrunden vid Lojsta Hed har provpumpningsresultaten visat på ett uttag om 20 l/s fördelat på 3–4 brunnar. De helikopterburna resistivitetsmätningarna (TEM) som utförts i området indikerade på högresistiva stråk men då strax norr om de stråk som framkommit i VIAKs undersökningar. Som stöd för utvärderingen av TEM-mätningarna utfördes i området två borrhål (Dahlqvist m.fl. 2015). Kapacitetsbedömningen av borrhålen i samband med borrning visade på kapacitet 15 000 l/tim (ID-nummer Brunnsarkivet: 914610328) respektive 1 500 l/h (SGU:s ID-nummer Brunnsarkivet: 914610348), vilket är något lägre än de kapaciteter som uppmätts i samband med de av VIAK utförda undersökningarna. Senare har provpumpningar utförts av Sweco (2018b) med upp till 8 l/s för en brunn. Man bedömer att uttagen är goda delvis för att de fylls på av grundvattenmagasin i jordlagren och att man bör undersöka risk för påverkan på angränsande Natura 2000-område.

En av de större grundvattentillgångarna från jordlagren på ön finns i stråket av svallsand vid Stånga och Burs (fig. 66). Uttagsmöjligheterna för grundvatten ur jordlagren har uppskattats till 30–40 l/s för grundvattenmagasinet Stånga och 10–20 l/s för grundvattenmagasinet Burs (Dahlqvist m.fl. 2020). Brunnar i magasinet i jordlagren kan ge så mycket som 7 000–12 000 l/tim (Dahlqvist m.fl. 2017a). Förstärkt grundvattenbildning via infiltration av ytvatten, har bedömts vara möjlig inom de mäktigare delarna av magasinen inom både Stånga och Burs (Dahlqvist m.fl. 2017b).



Figur 66. Bedömda uttagsmöjligheter från grundvattenmagasinen Stånga och Burs (från Dahlqvist m.fl 2021).

Anslutande ytvatten

Genom området rinner Närkån som tillhör ett av de större vattendragen på Gotland med en medelvattenföring på 1,2 m^3/s, men variationen är mycket stor över året. Ån börjar nordöst om Etelhem och mynnar på öns östra kust vid När. Uppströms Strömma heter ån Strömmaån och har en lång historia som viktig för kvarnverksamhet och den är en av få åar på Gotland som klarat sig från utdikning. På samma sätt som många andra vattendrag på ön är dock Närkån rätad och kanaliserad, Närkån utgör en vattenförekomst i vattenförvaltningen med id WA28544852.

Nordväst om Stånga har Snoderån sin början. Snoderån avvattnar bland annat Fridträsk, Ramträsk, Broträsk och Asaträsk. Denna del benämns Snoderån-Spånga med id WA97908085 och inom området *Ljugarn–Stånga* har den en medelvattenföring på 0,5 m^3/s, dock är variationen stor över året med högvattenflöde på över 7 m^3/s.

I de norra delarna av *Ljugarn–Stånga* ligger ett antal sjöar från Lojsta och österut förbi Etelhem (fig. 67). Sjöarna är speciella med gotländska mått mätt då de är ovanligt djupa, i vissa fall över 15 m. Sjöarna har en sammanlagd volym på nästan två miljoner kubikmeter (SMHI 2009). Sjöarna och tidigare våtmarker i närområdet är kraftigt påverkade av utdikning och markavvattning och några av sjöarna har tillsammans utgjort en större sjö i historisk tid. Att träsken ligger där de gör är kopplat till geologin, enligt Lassila (1986) är de bildade som proximaltråg i samband med inlandsisens maximala utbredning.

Figur 67. Broträsk vid Lojsta slott, foto söderut. Foto: Peter Dahlqvist.

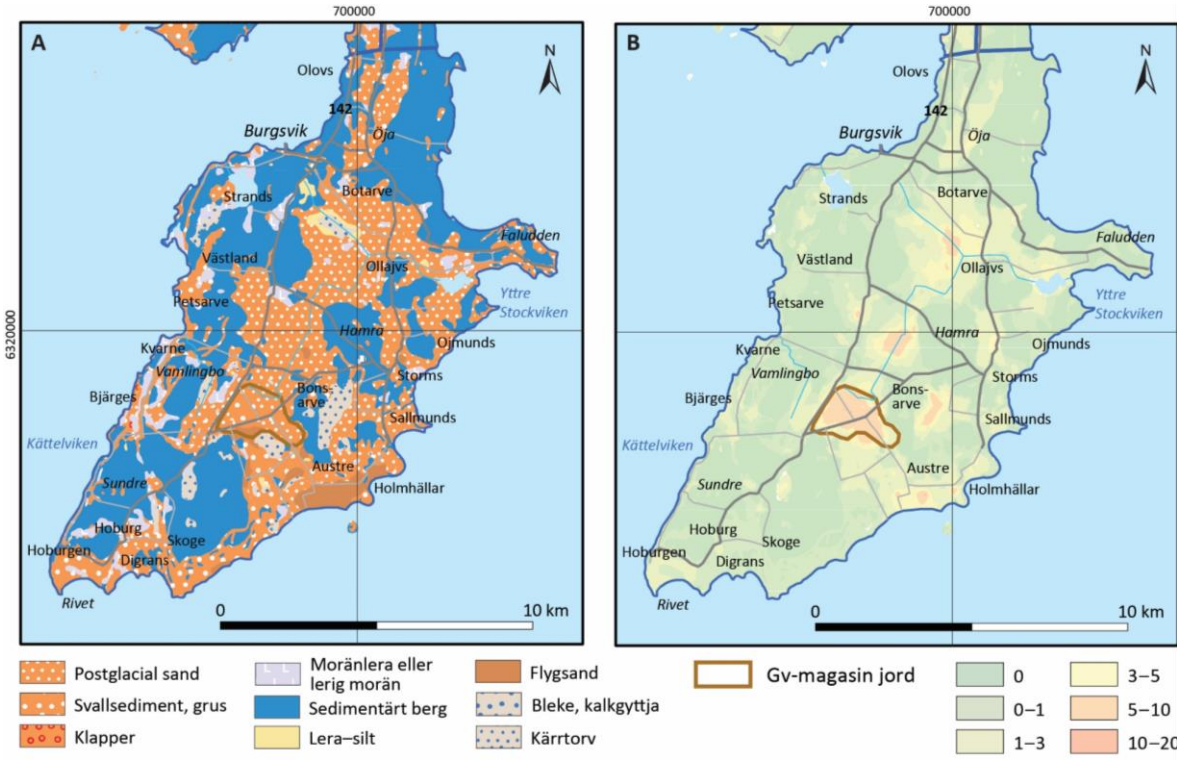
Storsudret

Terrängläge och geologisk översikt

Området *Storsudret* gränsar i norr mot *Ljugarn–Stånga* och *Eksta–Havdhem* strax söder om Fide kyrka och ligger längst söderut på Gotland (fig. 21). Området motsvarar de södra delarna av grundvattenförekomsterna ”Sydvästra Gotland Havdhem” och ”Sydöstra Gotland Grötlingbo” (fig. 19).

I huvudsak är Storsudret kargt och av öppen karaktär. De inre delarna av Storsudret har ett dominerande inslag av tallskog som är karakteristisk för sand och grusavlagringar som kan innehålla större mängder grundvatten. Även området kring Mjölhatteträsk är något annorlunda än övriga delar av Storsudret, här pekar den frodiga växtligheten på att det finns mer tillgängligt vatten i området. Områden med hällmark är mycket karga och består mest av betesmark. Åkermark är knutet till områden med jordlager (fig. 68A) och störst sammanhängande områden finns där jorddjupen är större (fig. 68B).

Den ytliga geologin består till stora delar av hällmark och områden med tunna jordlager (fig. 68A). Topografiskt är området lägre i de nordliga delarna och högre i söder där det finns markanta klintar vid havet (fig. 69B). Delar av Storsudret karakteriseras av olika strandvallsstadier med sandiga strandvallar och klapperstensfält. Den postglaciala sanden består av fin- till mellansand och underlagras ofta av mycket hård och tät morän. Morän syns endast i underordnad utsträckning i jordartskartan tillsammans med organiska jordarter från delvis eller helt igenväxta sjöar. Jorddjupen är oftast mindre än 3 m på Storsudret, dock finns områden med 5 ibland upp mot 10 m mäktiga jordlager, bland annat vid Vamlingbo (fig. 68B). I området vid Vamlingbo och norrut mot Petesviken finns ett antal nygjorda borrningar i jordlagren som utförts för att utröna de sand- och grusavlagringarnas mäktighet och sammansättning (finns i SGU:s lagerföljdsdata).



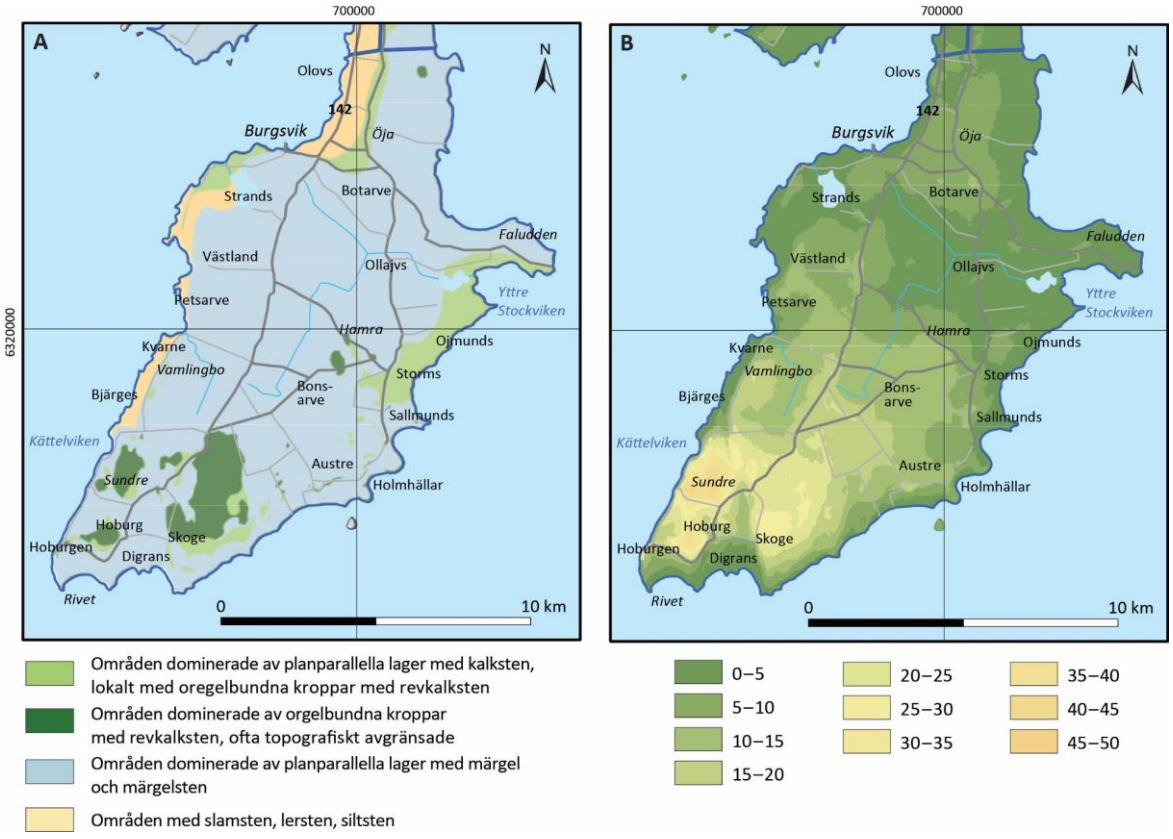
Figur 68. A. Jordartskarta över *Storsudret*. **B.** Jorddjupskarta över *Storsudret*.

Berggrunden på Storsudret domineras av lerig algkalksten och finkristallin krinoidékalksten och mindre revkomplex tillhörande Hamraformationen (fig. 69A). Hamralagren tilltar i mäktighet mot sydost och har en maximal mäktighet av 40 m. Längs den västra kusten finns Burgsviksandsten, i intervaller med övervägande lerinslag, med en mäktighet på ca 50 m. I de södra delarna och längs den östra kusten finns en något grovkornigare krinoidékalksten samt revkalksten tillförande Sundreformationen. Dessa kalkstenar har en mäktighet på ca 10 m och innehåller ofta revstrukturer.

Karstvittring förekommer på Storsudret bland annat i form av slukhål (fig. 70A). Områden med sprickkarren är dock ovanliga på Sudret, i stället verkar den ytliga vittringen skapa så kallade vittringsjordar (fig. 70B) vilket troligen är ett tecken på en annan sammansättning av berggrunden här än där karren bildas (Erlström m.fl. 2022).

Hydrogeologiska förhållanden

Området *Storsudret* gränsar norrut mot *Hemse-Stånga-Etelhem* (fig. 21) strax söder om Fide kyrka och har endast en lokal kontakt till hydrogeologin norrut. Det är ofta endast en kort distans och tid från infiltration som grundvattnet kan utnyttjas innan det når havet. Huvuddelen av grundvattenströmningen bedöms vara ut mot havet. Möjligen finns det en viss transport i sydostlig riktning som är kopplad till lager och stupningsförhållanden, där grundvatten ofta transporteras något enklare längs lagringsplan och vid skiften i berggrunden, i detta fall mellan den överliggande kalkstenen och Burgsviksandstenen. Storsudret är relativt litet arealsmässigt och grundvattenmagasin i berggrunden får anses utgöra lokala magasin med liten uthållighet i sidled. Generellt tunna jordlager och infiltrationsbenägna jordar gör att skyddet för grundvatten är generellt lågt på Sudret. Det förekommer slukhål på Storsudret bland annat vid Musk myr, som har påverkan på det ytliga grundvattenflödet (fig. 70A).



Figur 69. A. Berggrundskarta över *Storsudret*. **B.** Höjddata över *Storsudret*.

Burgsviksandstenen som finns i ytan längs Storsudrets nordvästra del och med ökande djup mot sydost har en heterogen sammansättning av sandsten och ler/siltsten. Den övre delen är oftast betydligt sandigare och mer permeabel (Erlström m.fl. 2022). Stora delar av Burgsviksandstenens lagerföljd ligger under den nivå där grundvattnet troligtvis är saltpåverkat (se mer information i avsnitt om *Sandsten*).

Undersökningar (Erlström m.fl. 2022) har också lokaliserat en nordvästligt orienterad förkastningszon tvärs Sudret mellan Stockviken, Burgsvik och Näsudden, där det kan finns möjligheter till bättre grundvattenuttag i en förmodat uppsprucken berggrund.

Den regionala grundvattennivån på Storsudret ligger i stora delar mellan 3–5 m över havets yta (fig. 8B). Det kan förekomma artesiskt tryck under vinterhalvåret i grundvattenmagasinen i berg, framför allt i lågt liggande områden med täta överliggande jordlager.

På Storsudret finns det risk för saltpåverkat grundvatten vid brunnsborrning överallt. Vid kusten är riskerna stora för att man får inträngning av bräckvatten från havet, men det finns även ett salt relikt grundvatten på större djup. Lägg därtill att de nordliga delarna ligger endast någon meter över dagens havsnivå och var för kanske mindre än 1 000 år sedan täckta av hav. Kartläggning av områden med risk för, samt nivån för, saltpåverkat grundvatten på Storsudret har gjorts av Tullström (1954b) samt Dahlqvist m.fl. (2017). Den generella bilden är att de berglager där allt grundvatten är salt följer den gängse stupningen och ligger närmre markytan i västnordväst och djupare mot ostsydost. Det finns dock relikt saltvatten över denna nivå vilket kan skapa problem lokalt. Generellt finns det många enskilda brunnar som har problem med vattenkvaliteten på Storsudret (Miljö- och hälsoskyddsnämnden, Region Gotland, 2015).

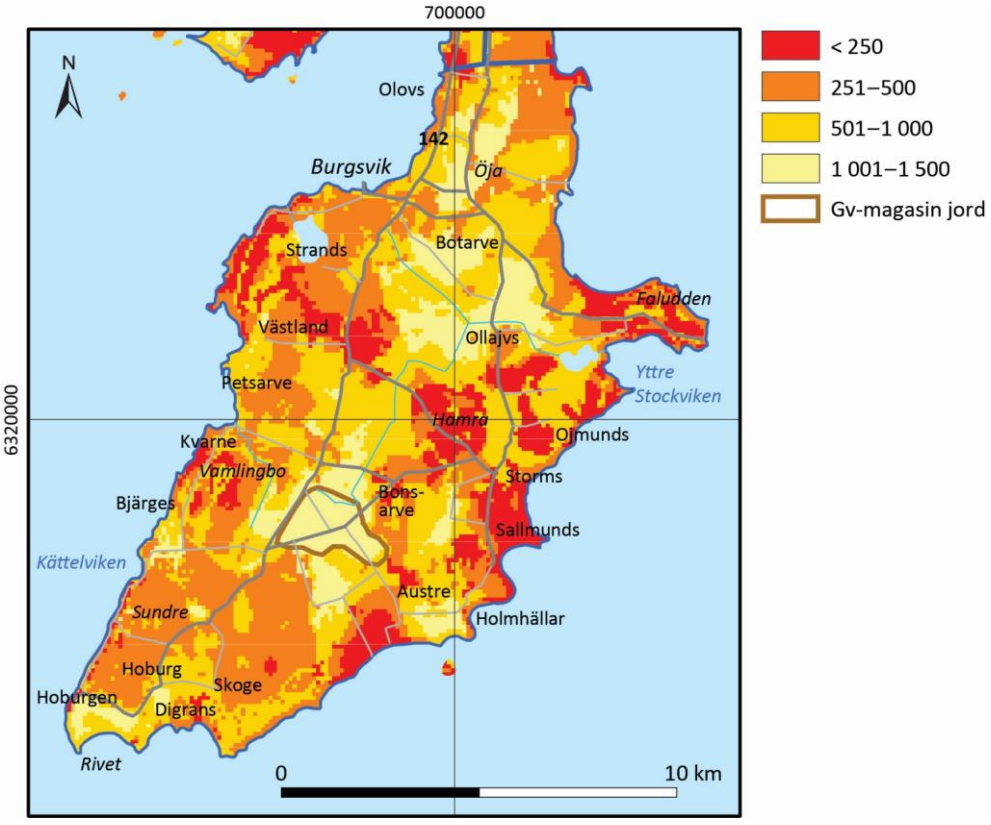
Grundvattenmagasin i jordlagren är kopplade till mäktiga jordlager på Storsudrets centrala delar, från Vamlingbo i söder och norrut till Petesviken (fig. 68B). Jordlagren ligger lite som i skålformar och den mättade zonen är ofta mer än 2 och ibland upp mot 5 m. En viss kontakt bör finnas med grundvattenmagasinet i berggrunden. Dock visar flera sonderingar och borrningar (se SGU:s lagerföljdsinformation) på att sand- och grusavlagringar på Storsudret i flera fall ligger på en hård och tät morän som säkerligen minskar grundvattenbildningen från grundvattenmagasin i jord till grundvattenmagasinen i berggrunden.

Figur 70. A. Slukhål vid Muskmyr. Foto: Magdalena Thorsbrink. **B.** Vittringsjord strax sydväst om Muskmyr. Foto: Peter Dahlqvist.

Uttagsmöjligheter

Bedömningen av grundvattentillgång och uttagsmöjlighet på Storsudret varierar stort. Områden med högre grundvattentillgång (1 000–1 500 l/dygn/ha) finns i områden med större jorddjup som till exempel vid Vamlingbo, medan stora områden med tunna jordlager och hällmark har en bedömd grundvattentillgång på mindre än 250 l/dygn/ha (fig. 71). Den heterogena geologin ger upphov till ett mosaikartat mönster när det gäller vad som är den begränsande faktorn på Storsudret. Det finns med andra ord inget regionalt mönster utan det är lokala förhållanden som kommer att styra. I de centralt liggande områdena med stora jorddjup är det grundvatten-bildningen till berg under torrår som blir styrande för bergbrunnar. Där jordlager är tunna eller saknas är det främst den magasinerande förmågan som är styrande för grundvattentillgången. På Sudret finns även områden där brunnens kapacitet kan vara styrande för hur mycket grundvatten en bergborrad brunn kan ge. Storsudret är ett av de områdena på Gotland som har hydraulisk konduktivitet i berggrunden enligt SGU:s sammanställning av brunnsdata (fig. 11).

Områden med mäktiga jordlager, framför allt de i huvudsak sandiga jordlagren vid Vamlingbo finns även möjlighet till större uttag ur jordlagren. VIAK (1974a) utförde kortare provpumpningar i två borrhål vid Vamlingbo och anförde att de vattenförande lagren bestod av 4 till 6 m mäktiga lager av grovmo–mellansand med en transmissivitet på 4×10^{-3} m^2/s och att ett kontinuerligt uttag på 3–5 l/s kunde utvinnas från vardera brunn. Provpumpning i Vamlingbo visar på en influensradie på 21 m vid ett kontinuerligt uttag på 4,3 l/min (Ramböll 2020). Kapacitetstest av Sweco (2021) visar på ett möjligt uttag av cirka 8 l/min. En VA-utredning för Storsudret gjordes 2010 (WRS 2011).



Figur 71. Karta över Grundvattentillgång inom *Storsudret*, uttryckt som liter/dygn/ha.

Ett antal examensarbeten har utförts på Sudret de senaste åren i anslutning till ett testbädds-projekt kring hållbar vattenförsörjning som drivs av IVL Svenska Miljöinstitutet (https://www.ivl.se/projektwebbar/storsudret.html). Det rör sig om skapande av grundvattendamm samt att skapa en större mängd sötvatten i bergmagasinet genom att pumpa bort befintligt saltpåverkat grundvatten (Almqvist 2018, Engström & Skoglund Lartell 2018, Andersson 2019, Edlund 2020).

Anslutande ytvatten

På Storsudret finns två områden med en större vattenspegel, Mjölhatteträsk och Inre Stockviken. Mjölhatteträsk, sydväst om Burgsvik är en grund sjö, som tidigare varit en havsvik. Sjön är cirka 90 ha stor och avvattnas norrut via ett dike som delvis är sprängt ner i berggrunden och rinner ut nära Valar fyr. Mjölhatteräsk ligger mindre än 2 m över havsnivån. Inre Stockviken, nordost om Hamra, är en igenväxt havsvik i ett bildningsstadie från havsvik till sjö. Viken är något mindre än 40 ha och ligger nära i höjd med havsnivån (fig. 69B).

Muskmyr är en större agmyr, nordost om Sundre, med några mindre vattenspeglar som avvattnas via ett dike som leder till ett slukhål (fig. 70A) nordväst om myren. Vattnet som försvinner ned i slukhålet kommer sedan fram i en källhorisont där det bidrar till ytterligare en agmyr. Muskmyr är ett Natura 2000-område och ekosystemen försörjs troligen med en del vatten från det ytligaste grundvattnet, med ett bidrag från nederbörd och ytavrinning.

På Storsudret finns en väldigt liten sträcka med naturliga vattendrag, dock finns ett antal diken som dränerar jordbruksmark. Det största dikessystem finns centralt på Storsudret, och börjar i söder vid Vamlingbo och i väster vid Halshageträsk. Det avvattnar flera av de områden som har störst jordmäktighet (fig. 68B) och mynnar till slut i inre Stockviken. Flödet varierar stort, vintertid är dikena fulla och djupet kan vara över en meter, medan de är helt torra delar av sommaren. Vid Vamlingbo finns en grävd damm som bedöms stå i kontakt med grundvattenytan (fig. 72).

Figur 72. Grundvattenförsedd damm vid Vamlingbo. Foto: Magdalena Thorsbrink

GRUNDVATTNETS KVALITET

Beskrivningen i detta avsnitt grundas i huvudsak på den sammanställning av vattenanalyser från miljöövervakning, kommunala och enskilda vattentäkter som gjorts i samband med revidering av rapporten *Bedömningsgrunder för grundvatten* (SGU 2013, se även bilaga 2 och 3 i föreliggande rapport för tabeller som jämför vattenkvaliteten med Sverige som helhet och för kartbilder över olika parametrar). Förändringar i grundvattenkvaliteten i 19 vattentäkter på Gotland mellan 1989 och 2004 beskrivs av Länsstyrelsen Gotland (2005). I SLU (2009) finns en sammanställning och bedömning av bekämpningsmedelsanalyser på Gotland 1987–2008.

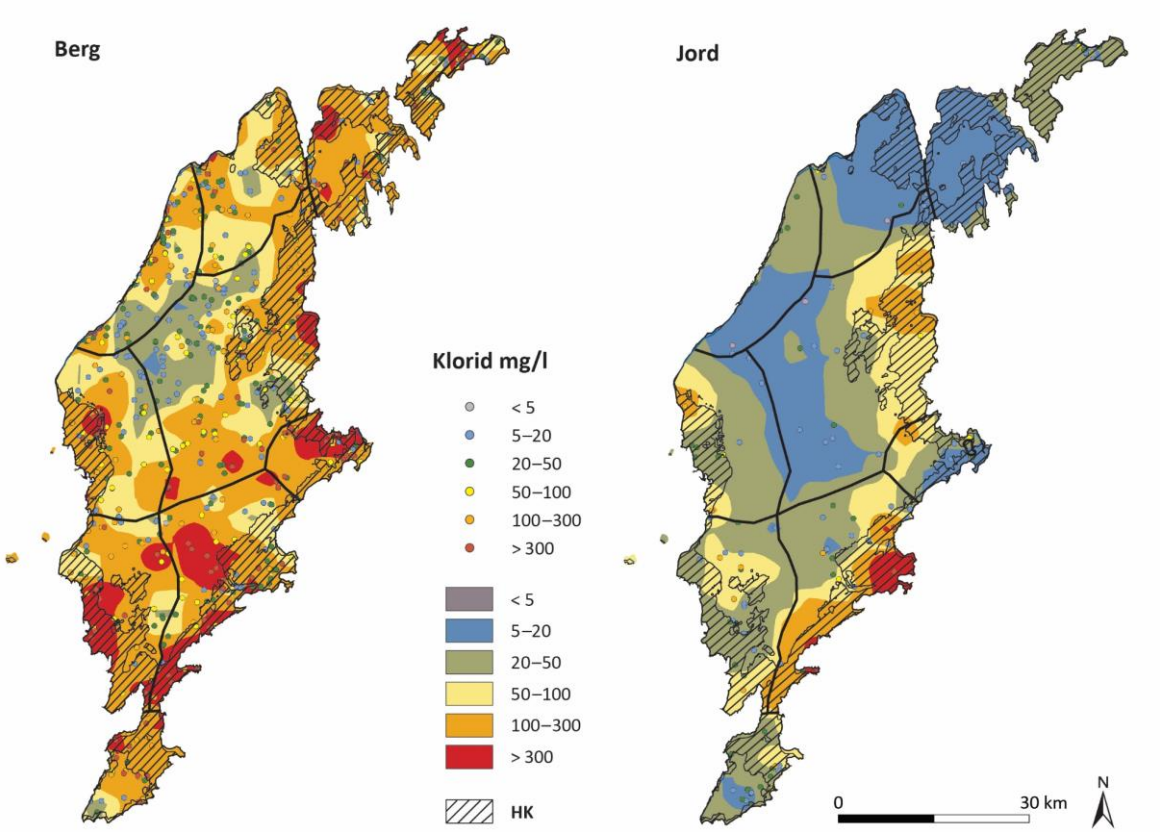
Gotlands grundvattenkemi skiljer sig på många sätt från resten av Sveriges (bilaga 2). Berggrunden som domineras av lättvittrad kalksten och märgelsten har gett ett grundvatten med mycket hög alkalinitet, högt pH och höga halter av baskatjonerna kalcium och magnesium, det vill säga hårt vatten. Detsamma gäller kalium och strontium som är höga i ett nationellt perspektiv.

De tunna jordlagren innebär att grundvattnet generellt har ett dåligt skydd mot föroreningar. Berggrunden är på många platser sprickrik och karstvittrad vilket medför att det finns snabba förbindelser för ett förorenat ytligt vatten att kunna transporteras ned till grundvattnet i berget. Vid en provtagning av 200 privata brunnar som genomfördes sommaren 2015 hade drygt en fjärdedel av brunnarna otjänligt vatten p.g.a. bakteriell påverkan. Särskilt utsatta är brunnar i jordlager och bergborrade brunnar med en bristfällig brunnskonstruktion. Under provtagningsperioden inträffade en period med kraftig nederbörd och de prov som togs efter denna var mer påverkade än övriga prover (Miljö- och hälsoskyddsnämnden & Region Gotland, 2015).

Förutom problem med bakterier så har vattnet i brunnar i jordlager ofta högre halt av organiska ämnen (COD_{Mn}) och också högre färg i vattnet än brunnar i hela riket. Dessa parametrar kan vara resultatet av snabba vattentransporter genom marken men eftersom de är mer påtagliga i områden som legat under havet efter istiden (under den Högsta Kustlinjen) så kan innehållet av organiska ämnen (till exempel humusämnen) också tänkas bero på påverkan från myrområden eller på att torvmaterial finns inlagrat i jordlagren. Sådana lagerföljder finns bland annat på Fårö.

Gotland är till stora delar en jordbruksbygd och har relativt lätta jordar, vilket tillsammans med ofta dåliga förutsättningar för enskilda avlopp kan förklara att förhöjda halter av kvävekomponenterna nitrat, ammonium och även nitrit förekommer i högre utsträckning på Gotland än i övriga Sverige (bilaga 2).

Klorid är ett välkänt problem på Gotland och det är viktigt på hela ön att inte anlägga för djupa brunnar eller ta ut för mycket vatten för att inte saltvattenproblem ska uppkomma (Länsstyrelsen i Gotlands län 2018). Problemen är störst i borrade brunnar i de delar av Gotland som legat under havsytan efter senaste istiden (fig. 73, se även diskussion i t.ex. SMA 2018b). Det är även vanligare att märgel och märgelsten med mindre aktivt grundvattenflöde har kvar relikt saltvatten jämfört med den mer genomsläppliga kalkstenen. I Dahlqvist m.fl. (2015 och 2017) finns nivåkartor för trolig nivå för saltvattenpåverkat grundvatten för de områden som undersökts med helikopterburen TEM-mätning. SGU har även utfört en 3D modell för hela Gotland med en kombination av information från dessa mätningar och information från brunnsborrningar om höga kloridhalter. Modellen finns i SGU:s 3D-visare.

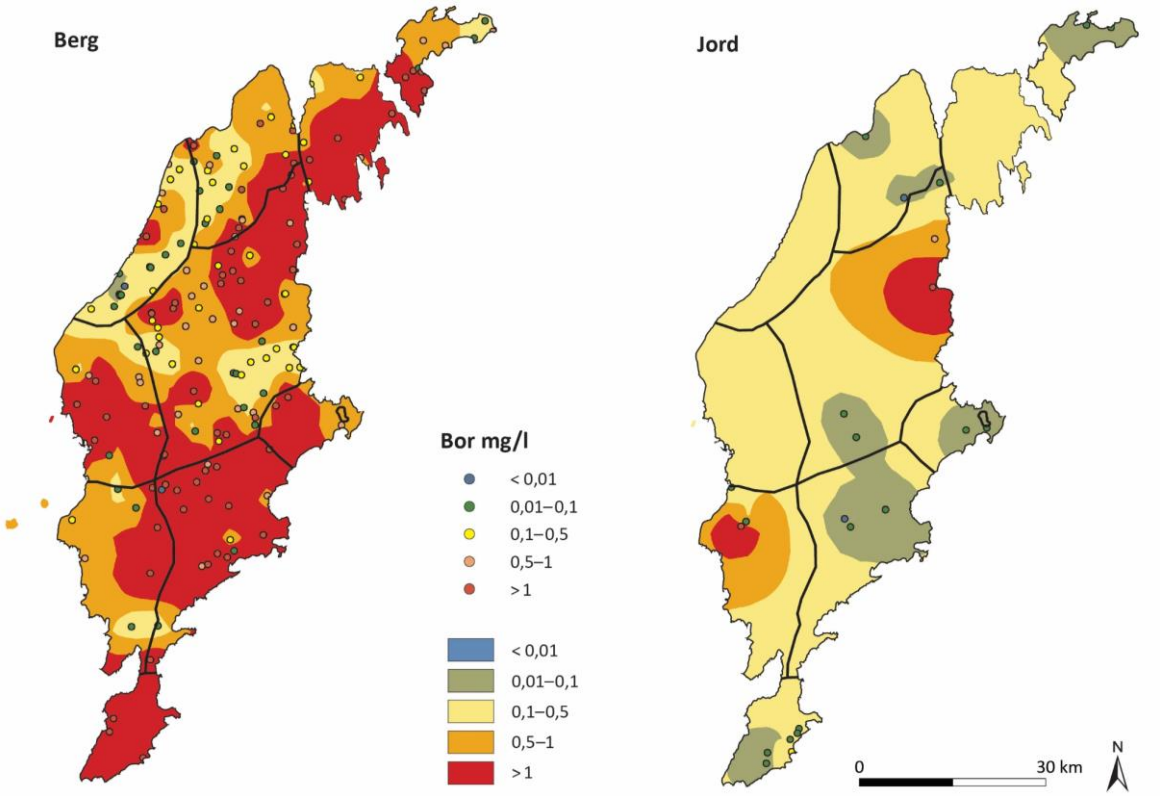


Figur 73. Halter (mg/l) av klorid i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger). Rastrerat område under Högsta Kustlinjen. Kartorna visar en generaliserad bild av grundvattenkvaliteten som tagits fram med interpolation, för mer information se bilaga 2. Särskilt för brunnar i jord finns mycket få mätpunkter vilket ger stor osäkerhet i den interpolerade kartbilden.

Halterna av framför allt bly men även av kadmium, koppar och zink är generellt något lägre på Gotland än i hela Sverige medan halterna av krom och nickel kan vara något högre. Halterna av uran är låga i grundvattnet på Gotland och de få analyserna av radon är genomgående mycket låga (bilaga 2).

Bor i grundvattnet har uppmärksammats som ett kvalitetsproblem på Gotland med halter över 2.4 mg/l vilket är vad WHO satt som hälsomässigt riktvärde för dricksvatten. Det är även den halt som Livsmedelsverket anser att vattnet kan användas utan begränsningar (Länsstyrelsen i Gotlands län 2018). Analysunderlaget för brunnar i jord är litet men halterna verkar genomgående vara lägre än för bergborrade brunnar (fig. 74). Högre halter av bor är framför allt förknippade med bergborrade brunnar i områden med märgel (jämför fig 2). SGU:s geokemiska kartering över Gotland visar också att halterna bor i morän i märgelområden är högre än i områden med kalkberggrund (Carlsson m.fl. 2020).

Fluorid är ett jämförelsevis mindre problem på Gotland än i övriga Sverige (bilaga 2), men det finns en samvariation med bor. Höga borhalter förekommer ofta tillsammans med höga fluoridhalter (fig. 75) vilket även visats i märgelområden i nordvästra Tyskland (Queste m.fl. 2001). Bor kan också kopplas till saltinslag genom högre natrium- och kloridhalter, däremot är halterna av kalcium och alkalinitet oftast lägre än i grundvattnet från andra brunnar på Gotland.

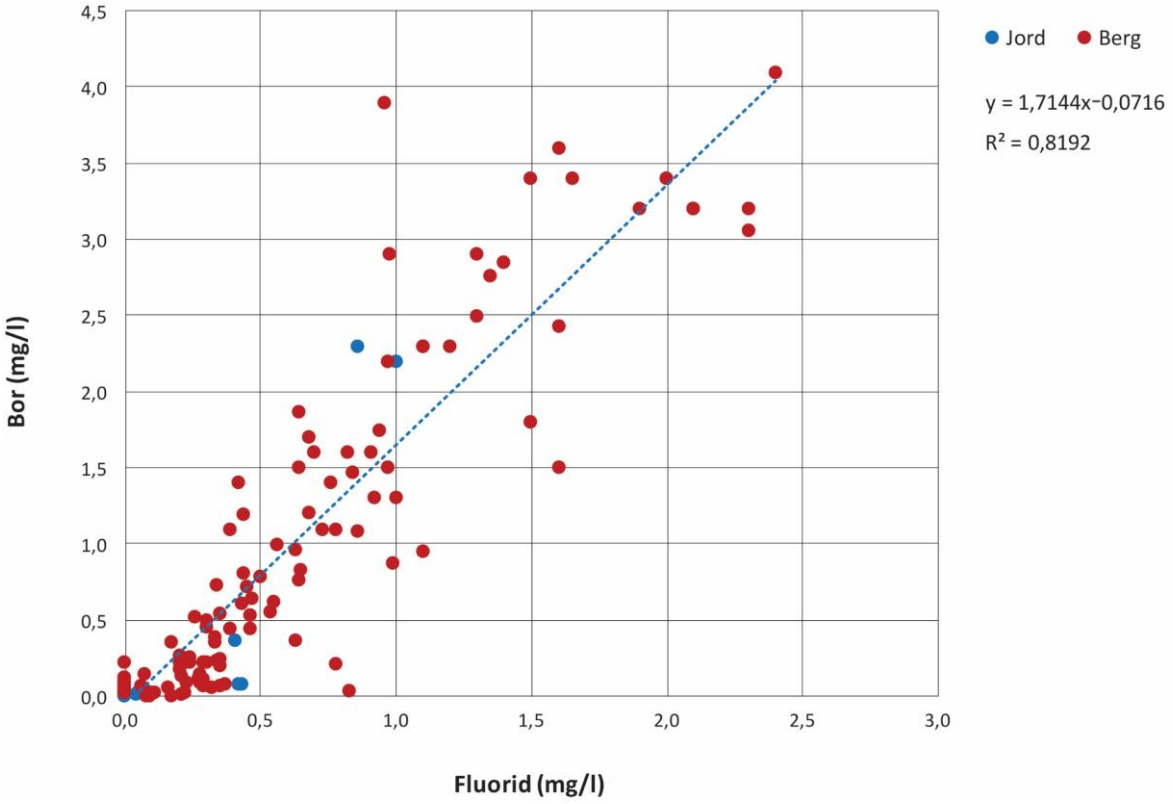


Figur 74. Halter (mg/l) av bor i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger). Kartorna visar en generaliserad bild av grundvattenkvaliteten som tagits fram med interpolation, för mer information se bilaga 2. Särskilt för brunnar i jord finns mycket få mätpunkter vilket ger stor osäkerhet i den interpolerade kartbilden.

Förutom bor är selen ett ämne som relativt frekvent kan förekomma i påtagliga halter i grundvattnet på Gotland. Höga selenhalter förekommer ofta tillsammans med höga borhalter.

I bilaga 2B visas en sammanställning av grundämnesanalyser på vattenproven från enskilda brunnar från provtagningen 2015 i jämförelse med analyser från övriga Sverige. Dessa representerar ämnen som mer sällan analyseras i grundvatten, övriga ämnen redovisas i bilaga 2A. Generellt är halterna av dessa ämnen låga, många under analysens detektions- respektive kvantifieringsgräns. Jämfört med övriga Sverige är framför allt halterna av litium högre, även om de fortfarande är låga i ett internationellt perspektiv. Även halterna av barium, vanadin och kobolt är högre än i övriga Sverige. Däremot är halterna av en rad sällsynta jordartsmetaller såsom yttrium, lantan, cerium, praseodym, neodym, samarium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, tulium, ytterbium och lutetium påtagligt låga jämfört med övriga Sverige. Även halterna av beryllium och volfram är jämförelsevis lägre.

Litiumhalterna är vanligtvis högre i bergborrade brunnar än i brunnar i jordlagren. För de sällsynta jordartsmetallerna är halterna däremot högre i brunnar i jordlagren än i bergborrade brunnar. Detta gäller både på Gotland och i övriga Sverige.



Figur 75. Höga halter av bor hör oftast ihop med höga fluoridhalter på Gotland.

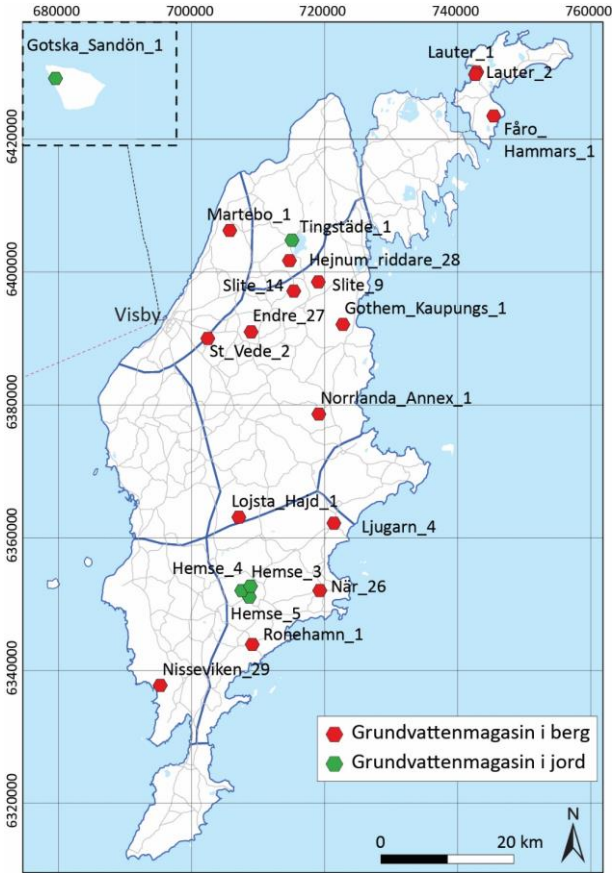
ÖVERVAKNING GRUNDVATTENNIVÅER

I SGU:s verktyg *Kartvisare och diagram för mätstationer* finns information om grundvattennivåer inom cirka 250 områden med sammanlagt fler än 550 observationsrör i Sverige. Vid denna rapports publicering (oktober 2022) var 22 stationer i gång på Gotland, varav 17 är i berg och 5 i jordlagren (tabell 3, fig. 76). Information om stationer och nivådata kan hämtas via SGU:s web (https://www.sgu.se/grundvatten/grundvattennivaer/matstationer). De flesta observationsrören mäts automatiskt sex gånger per dygn men några mäts 1–2 gånger per månad. Med hjälp av mätningarna studeras tidsmässiga variationer i grundvattnets mängd och beskaffenhet, i förhållande till geologi, topografi och klimat. Information om exempelvis jordart, topografiskt läge och typ av akvifer har stor betydelse för att bedöma grundvattennivåns variationsmönster.

När man använder SGU:s nivådata för referensändamål är det viktigt att de platsspecifika egenskaperna i punkten från grundvattennätet, till exempel geologi och topografi, så långt som möjligt liknar den plats som man jämför med samt att klimatförhållandena är likartade. SGU har även en kartvisare för beräknade relativa nivåer, i termer av *fyllnadsgrad*, för områden där mätningar inte utförs (https://www.sgu.se/grundvatten/grundvattennivaer/berakningsmodell/). Man kan även få predikterade nivåer för tre olika väderutvecklingar under kommande månader.

Tabell 3. Övervakningspunkter med nivåmätning.

Station	Miljö	Startår
Slite_14	Berg	1974
Lauter_2	Berg	2014
Slite_9	Berg	1970
När	Berg	2016
St_Vede	Berg	2011
Martebo_1	Berg	2019
Endre	Berg	2016
Ronehamn	Berg	2014
Hemse_5	jord	1986
Norrlanda_Annex	Berg	2017
Hemse_4	jord	1986
Isums_1	Berg	1967
Hemse_3	jord	1986
Lauter_1	Berg	2014
Gothem_Kaupungs	Berg	2017
Faro_Hammars	Berg	2018
Hejnum_riddare	Berg	2016
Nisseviken	Berg	2017
Tingstade_1	Jord	2018
Gotska Sandön_1	jord	1982
Ljugarn	Berg	2015
Lojsta_Hajd	Berg	2018



Figur 76. Övervakningspunkter med nivåmätning.

GRUNDVATTENBEROENDE EKOSYSTEM

Gotlands unika geologiska miljö gör att det på ön finns stor mängd värdefulla grundvattenberoende ekosystem, och de kan vara grundvattenberoende på många olika sätt. De kan vara beroende av grundvattnets mängd, såsom flöde och nivå, men även av grundvattnets innehåll av olika ämnen exempelvis näringsämnen och mineraler.

SGU har i en rapport (Thorsbrink m.fl. 2016) sammanställt geologins betydelse för grundvattenberoende ekosystem. Där beskrivs vilka geologiska förhållanden som är kopplade till de naturtyper som har högst känslighet och sårbarhet enligt metod av Werner & Collinder (2011, 2014 och 2015). På SGU:s webbplats finns även användarstöd och vägledning angående grundvattenberoende ekosystem.

Inom arbetet med EU:s ramdirektiv för vatten har de grundvattenberoende ekosystemen en särskild betydelse eftersom grundvattnet, enligt direktivets krav, ska bidra till att både grundvattenberoende akvatiska och terrestra ekosystem mår bra. Annars kan inte vattendirektivets mål om god status uppnås. I vattendirektivet finns också en tydlig koppling till den EU-lagstiftning som specifikt är till för att skydda värdefulla ekosystem och som heter Art- och habitatdirektivet. För att veta var dessa skyddsvärda ekosystem finns har Vattenmyndigheterna och länsstyrelserna som ett första steg identifierat var det finns grundvattenberoende terrestra ekosystem i anslutning till beslutade grundvattenförekomster. I detta arbete har man utgått ifrån ekosystem som är belägna inom beslutade Natura 2000-områden. Vidare har kartläggningen utgått ifrån de naturtyper som getts högst prioritet enligt Werner och Collinder (2015). För Gotlands del har arbetet utmynnat i att det finns 68 utpekade Natura 2000-områden vilka framgår i VISS (2021-11-11) och som även presenteras i den regionala vattenförsörjningsplanen (Länsstyrelsen 2018). Gemensamt för majoriteten av de utpekade områdena är att de innefattar grundvattenberoende ekosystem som uteslutande återfinns i kalkrika miljöer. Utöver de terrestra naturtyperna dynvåtmarker, agkärr, kalktuffkällor, rikkärr och lövsumpskog har även områden med kransalgsjöar lyfts fram i kartläggningen. De absolut mest frekvent utpekade naturtyperna är agkärr, rikkär och kalktuffkällor. Generellt är det de anisotropa förhållandena i berggrunden och förekomst av karst som skapar flera av dessa speciella miljöer (fig. 77).

Figur 77. Schematisk bild över ett gotländskt landskap med heterogena berggrundsförhållanden. En vät ligger ofta i områden med lokalt tätare berggrund där vattnet i lågpunkter inte kan perkolera ner. Illustration: ArtAnna.

REFERENSER

Alm, P.-G., 2014: Loggningsrapport. Borrhålsloggning Gotland. Sveriges geologiska undersökning Dnr 423-2056/2014. 49 s

Alm, P-G., 2015: Loggningsrapport. Borrhålsloggning Gotland, Sveriges geologiska undersökning, Dnr 423-22354/2015.

Alm, P-G., 2016: Loggningsrapport. Borrhålsloggning Gotland, Sveriges geologiska undersökning, Dnr 423-2454/2016.

Almqvist, L., 2018: *Grundvattenutredning på Storsudret, Gotland*. Examensarbete KTH 30 hp, 28 s.

Andersson, M., 2019: *Ökad grundvattenbildning genom pumpning av salt grundvatten från berggrunden på Gotland*. Examensarbete Uppsala universitet 30 hp, 46s.

Bergström, K, H., 1987: *Vattnet på Gotland, anteckningar om vattenhanteringen på ön*. Hanseproduktion AB, Visby, 184 s. ISBN 91-85716-45-6.

Carlsson, M., Gonzalez, J. & Ladenberger, A., 2020: Markgeokemi: morän- och sedimentgeokemi på Öland och Gotland. *SGU-rapport 2020:28*, Sveriges geologiska undersökning, 100 s.

Carlstedt, A., 2016: Planerad utvinning av naturgrus på fastigheterna Smiss 1:20, Furbjärs 1:27 och Rosarve 1:7, Tingstäde, region Gotland. Hydrogeologisk bedömning. Anders Carlstedt Grundvattenråd EF, 6s.

Dahlqvist, P., Triumf, C.-A., Persson, L., Bastani, M., Erlström, M., Jørgensen, F., Thulin Olander, H., Gustafsson, M., Thorsbrink, M., Schoning, K. & Curtis, P., 2015: SkyTEM-undersökningar på Gotland. *Rapporter och Meddelanden 136*, Sveriges geologiska undersökning, 108 s.

Dahlqvist, P., Triumf, C.-A., Persson, L., Bastani, M., Erlström, M., & Schoning, K., 2017a: SkyTEM-undersökningar på Gotland, del 2. *Rapporter och Meddelanden 140*, Sveriges geologiska undersökning, 135 s.

Dahlqvist, P.; Thorsbrink, M.; Holgersson, B.; Nisell, J., Maxe, L. & Gustafsson, M., 2017b: Våtmarker och grundvattenbildning – om möjligheten till ökad kapacitet vid grundvattentäkter på Gotland. *SGU-rapport 2017:01*, Sveriges geologiska undersökning, 73 s.

Dahlqvist, P., Sjöstrand, K., Lindhe, A., Rosén, L., Nisell, J., Hellstrand, E., & Holgersson, B, 2019: Potential benefits of managed aquifer recharge MAR on the Island of Gotland, Sweden. *Water 11 (10*). Doi: 10.3390/w11102164.

Dahlqvist, P., Gustafsson, M. & Langkjaer, H., 2020: Grundvattenmagasinen Stånga och Burs. *Sveriges geologiska undersökning K 666*, 25 s.

Dahlqvist, P., Gustafsson, M. & Langkjaer, H., 2021: Grundvattenmagasinet Ulla Hau. *Sveriges geologiska undersökning K 711*, 22s.

Edlund, H., 2020: *Förstärkt grundvattenbildning genom bortpumpning av salt grundvatten – modellering av lokala effekter och identifiering av plats för pilottest på Gotland.* Examensarbete Uppsala universitet 30 hp, 71s.

Engström, K & Skoglund Lartell, M., 2020: *Evaluating locations of subsurface dams, A case study on Storsudret Gotland.* Examensarbete KTH 30hp, 99s.

Eriksson, E. & Johansson, S., 1978: *Gotlands grundvattenresurser.* Avdelningen för hydrologi, Uppsala universitet, Naturgeografiska Institutionen, 13 s.

Erlström, M., Persson, L. & Jelinek, C., 2007: Sammanställning och bedömning rörande uran, radium och radon i mark och vatten i Visby och på Gotland. SGU:s diarienummer 08-1754/2006.

Erlström, M., Persson, L., Sivhed, U. & Wickström, L., 2009: Beskrivning till regional berg-grundskarta över Gotlands län. *Sveriges geologiska undersökning K 221*, 60 s.

Erlström, M., Dahlqvist, P., Sopher, D. & Hjerne, C-E., 2022: Karaktärisering av karst på Gotland – en pilotstudie på mellersta Gotland. *SGU-rapport 2022:04*, Sveriges geologiska undersökning, 51 s.

Erlström, M., Sopher, D. & Dahlqvist, P. 2022: Berggrunden på Sudret, Gotland. SGU-rapport 2022:11, Sveriges geologiska undersökning, 73s.

Flodén, T., 1980: Seismic stratigraphy and bedrock geology of the central Baltic. *Stockholm Contributions in Geology 35*, 240 s.

Golder, 2020: Strukturgeologiska observationer Filehajdar. Framställd för Cementa AB av Golder Associates AB, 2020-06-18, 12 s.

Golder, 2021: Grundvattenförhållandena vid Cementas dagbrott i Slite. Framställd för Cementa AB av Golder Associates AB, 2021-09-15, 80 s.

Gustafsson, M. & Erlström, M., 2007: Provpumpning Bro stentäkt. Sveriges geologiska undersökning Dnr 08-779/2007. 7 s.

Hjerne, C., Thorsbrink, M., Thunholm, B., Gustafsson, M., Lång, L-O., Mikko, H & Ising, J., 2021a: Grundvattentillgång i små magasin. *SGU-rapport 2021:8*, Sveriges geologiska undersökning, 59 s.

Hjerne, C., Thorsbrink, M., Thunholm, B., Andersson, J. & Dahlqvist, P., 2021b: Hydraulisk konduktivitet i Sveriges berggrund. *SGU-rapport 2021:09*, Sveriges geologiska undersökning, 75 s.

Hjernquist, B., 2014: *Snoderån, beskrivning, analys, åtgärdsförslag*. Vattenrådet Snoderån, ISBN 978-91-980886-1-8.

Karlqvist, L., Fogdestam, B. & Engqvist, P., 1982: Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Gotlands län, *Sveriges geologiska undersökning Ah 3*, 60 s.

Kemakta & Pentacon, 2019: Ansökan om vattenskyddsområde med föreskrifter för Åminne vattentäkt. Kemakta AR 2019-34, 84s.

Källakademin, 2001. Källakademins exkursion till Gotland 15–16 juni 2001.

Lassila, M., 1986: Proximal troughs and ice movements in Gotland, southern Sweden. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Bd. 30, H 2*, 129–140.

Lundqvist, G., 1940: Sjösediment från Gotland. *Sveriges geologiska undersökning C 434*, 143 s.

LRF, 2019: Reglerbara dämluckor i öppna diken på Gotland. Landsbygdsprogrammet, journalnummer 2017-4169, 30s.

LRF, 2021: Mer våtmarker höjt grundvatten, slutredovisning LONA-bidrag av Anders Nypelius, 25 s.

Länsstyrelsen i Gotlands län, 2005: Förändring i grundvattenkvaliteten i 19 vattentäkter på Gotland under åren 1989–2004, 140 s.

Länsstyrelsen i Gotlands län, 2018: Regional vattenförsörjningsplan för Gotlands län. Länsstyrelsen i Gotlands län, 74 sidor och bilagor.

Miljö- och hälsoskyddsnämnden Region Gotland, 2015: 100-undersökningen. Dricksvattenkvaliteten i enskilda vattentäkter 2015, 9 sidor och 8 bilagor.

Munthe, H. 1910: Studier öfver Gotlands senkvartära historia. *Sveriges geologiska undersökning Ca 4*, 213 s.

Munthe, H., Hede, J-E. & Lundqvist, G. 1925. Gotlands geologi. *Sveriges geologiska undersökning C 331*, 130s.

Naturvårdsverket, 2015. Kompletterande undersökning av ytnära geologi, hydrologi och biologi i Bunge Ducker 1:64 och omgivande Natura 2000-områden, 102 s.

Nordström, A., 1996: Miljöfarlig verksamhet inom Visby-Vibble vattenskyddsområde. Länsstyrelsen i Gotlands län, Livsmiljöenheten rapport nr 3, 1996.

Olofsson, B. & Earon, R., 2015: Geofysiska mätningar vid Bunge Ducker 1:64 och dess gränser mot Natura 2000-områdena Bräntings haid, Bästeträsk och Gildarshagen. *Environmental Innovation AB rapport,* 36 s.

Persson, L., 2021: Geologisk 3D modell Gotland. SGU-rapport 2021:27, Sveriges geologiska undersökning, 30 s.

Påsse, T. & Daniels, J., 2015: Past shore-level and sea-level displacements. *Rapporter och Meddelanden 137*, Sveriges geologiska undersökning.

Queste, A., Lacombe, M., Hellmeier, W., Hillermann, F., Bortulussi, B., Kaup, M., Ott, K. & Mathys, W., 2001: High concentrations of fluoride and boron in drinking water wells in the Muenster region - Results of a preliminary investigation. *International Journal of Hygiene and Environmental Health Volume 203*, Issue 3, 2001, 221–224.

Region Gotland, 2016: *Gotlands grundvatten och dricksvatten. Förutsättningar och utmaningar inför framtiden*, 16 s.

Rodhe, A., Lindström, G., Rosberg, J. & Pers, C., 2006: Grundvattenbildning i svenska typjordar – översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell. Uppsala universitet, Institutionen för geovetenskaper, *Report Series A No. 66*, 20 s.

Rodhe, A., Lindström, G. & Dahné, J., 2008: Grundvattenbildning i svenska typjordar – metodutveckling av en vattenbalansmodell. Rapport till SGU, SGU:s diarienummer 60-1461/2006. Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala universitet och Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.

Rodhe, A., Lindström, G. & Dahné, J., 2009: Grundvattennivåer i ett förändrat klimat. Slutrapport från SGU-projektet ”Grundvattenbildning i ett förändrat klimat”, SGU:s diarienummer 60-1642/2007. Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala universitet och Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.

Ryd, E., 2017: *Samband mellan kapacitet vid borrning och transmissivitet i kristallint och sedimentärt berg*. Examensarbete, Institutionen för geovetenskaper, Luft-vatten och landskapslära, Uppsala universitet.

Segerros, M., 1987: *Inverkan av uppdämning på grun så dvattenstånd, en studie på Mästermyr*. Avdelningsmeddelande 87:5, Sveriges lantbruksuniversitet, 53 s.

SGU, 1995: Sårbarhetslagerföljdstyper på Gotland. Klassificering och digitalisering av geologisk information. Uppdragsrapport författad av Anders Carlstedt, SGU:s diarienummer 1022-1994.

SGU, 2000: Gotlands kommun, bedömning av grundvattentillgångar. Uppdragsrapport författad av Anders Carlstedt, SGU:s Dnr: 08-632/2000, 12s.

SGU, 2005: Gotlands kommun, Visby vattenförsörjning, revidering av skyddsområde för Visby – Vibble vattentäkter. Uppdragsrapport författad av Anders Carlstedt. SGU:s Dnr: 08-1285/2003.

SGU, 2008: Beskrivning av berggrundsförhållanden och tolkning av geofysiska mätningar i anslutning till Bungetäkten. Sammanställning utförd på uppdrag av Nordkalk AB av Mikael Erlström och Lena Persson. SGU:s Dnr: 08-2119/2007, 42s.

SGU, 2013: Bedömningsgrunder för grundvatten. *SGU-rapport 2013:01,* Sveriges geologiska undersökning, 238s.

SGU, 2021: PM_Framtida_grundvattenförhållanden_Södra Östersjöns Vattendistrikt, SGU:s Dnr: 314-710-2021.

SGU, 2022: Protokoll med bilagor från diskussioner beträffande vattenfrågan m.m. på Gotland. Sammanställda på Kungl. lantbruksstyrelsen planläggningsbyrå av Sven O.Berg t.f .byråchef. Tillgänglig via SGU, SGU:s utredningsnummer 09_001. [sgu.se/sgu/arkiv/arkiv_open/datamangder/grundvatten/grundvattenutr/latest/skannade_utredningar/alla_skannade_utredningar/09_001.pdf] Senast åtkommen 2022-10-07.

Sivhed, U., Erlström, M., Bojesen-Koefoed, J.A. & Löfgren, A., 2004: Upper Ordovician carbonate mounds on Gotland, central Baltic Sea. Distribution, composition and reservoir characteristics. *Journal of Petroleum Geology 27*, 115–140.

SLU, 2009: Bekämpningsmedel (växtskyddsmedel) i vatten på Gotland., 64 s. ISSN 0347-9307.

SMA, 2018a: Utan titel. [https://smamineral.se/wp-content/uploads/2018/11/MKB-Klintebys-1_5-181031.pdf] Senast åtkommen 2022-09-24.

SMA, 2018b: Utan titel. [https://smamineral.se/wp-content/uploads/2018/11/4-Klintebys-sid-271-350.pdf] Senast åtkommen 2022-09-24.

SMA, 2021: *Mark- och miljödomstolen täktansökan Gåsgruvan.* SMA Minerals AB. [https://smamineral.se/sv/klintebys/mmd-klintebys-taktansokan/] Senast åtkommen 2022-09-24.

Svantesson, S.-I., 1972: Sammanställning av borrdata från Tingstäde-Stenkyrka och Vamlingbo-undersökningarna på Gotland hösten 1972, 25 s.

Svantesson, S.-I., 2005: Jordartskartan Gotland, norra delen, skala 1:100 000. *Sveriges geologiska undersökning K 4*, 1 s.

Svantesson, S.-I., 2008: Beskrivning till jordartskartan Gotland. *Sveriges geologiska undersökning K 4*, 45 s.

Sweco, 2018a: Fårö. Yttrande över hydrogeologiska utredningar 2015–2018. Uppdragsnummer: 1301104100. Jönköping 2018-11-01. Referensnummer i SGU:s register för grundvattenutredningar: 10921. 31 s.

Sweco, 2018b: Samrådsunderlag, tillståndsprövning enligt MB för provpumpning av grundvatten vid Lojsta, Gotland, 25 s.

Sweco, 2020: PM Ullahau – utlåtande efter prospekteringsborrning. Uppdragsnummer 13006688-100. Referensnummer i SGU:s register för grundvattenutredningar: 10996, 7 s.

Sweco, 2021: Vibble vattentäkt, Visby, bilaga B – teknisk beskrivning, 21-05-25, 15 s.

Thorsbrink, M., Dahlqvist, P., Holgersson, B. & McCarthy, J., 2016: Geologins betydelse för grundvattenberoende ekosystem. *SGU-rapport 2016:11*, Sveriges geologiska undersökning, 46 s.

Thorsbrink, M., Sohlenius, G., Becher, M., Bastviken, P., Nolin Nyström, L. & Eveborn, D., 2019: Geologins betydelse vid våtmarksåtgärder – sätt att stärka tillgången på grundvatten. *SGU-rapport 2019:15*, Sveriges geologiska undersökning, 33 s.

Thulin Olander, H., 2015: *A contribution to the knowledge of Fårö's hydrogeology*. Master Thesis, Lunds universitet, 39 s.

Tullström, H., 1954a: Hydrogeologiska förhållanden inom Slite köping på Gotland. *Sveriges geologiska undersökning C 538*, 28 s.

Tullström, H., 1954b: Preliminärt meddelande om hydrogeologiska undersökningar på Gotland. Grundförbättring. *Tidskrift för jordbrukets rationalisering genom grundförbättring 4,* 243–254.

Werner K, & Collinder, P., 2011: Grundvattenberoende ekosystem. Översiktlig klassificering av känslighet och värde för svenska naturtyper och arter inom nätverket Natura 2000. På uppdrag av Vattenmyndigheterna.

Werner K, & Collinder, P., 2014: Grundvattenkemiberoende ekosystem. Översiktlig klassificering av känslighet för svenska naturtyper inom nätverket Natura 2000. På uppdrag av SGU.

Werner, K & Collinder, P., 2015: Grundvattenberoende ekosystem, förslag på prioritering av svenska naturtyper inom nätverket Natura 2000. SGU:s Dnr 423-1298/2015. På uppdrag av SGU.

VIAK AB, 1974a: Gotlands kommun, grundvattenundersökningar inom Tingstädeåsen, Tingstäde-Stenkyrka och Vamlingbo 1973, 20 s.

VIAK AB, 1974b: Gotlands kommun, Grundvatten – N Gotland, Geohydrologiska undersökningar inom området Endre-Fole-Hejnum 1971–1973, 24 s.

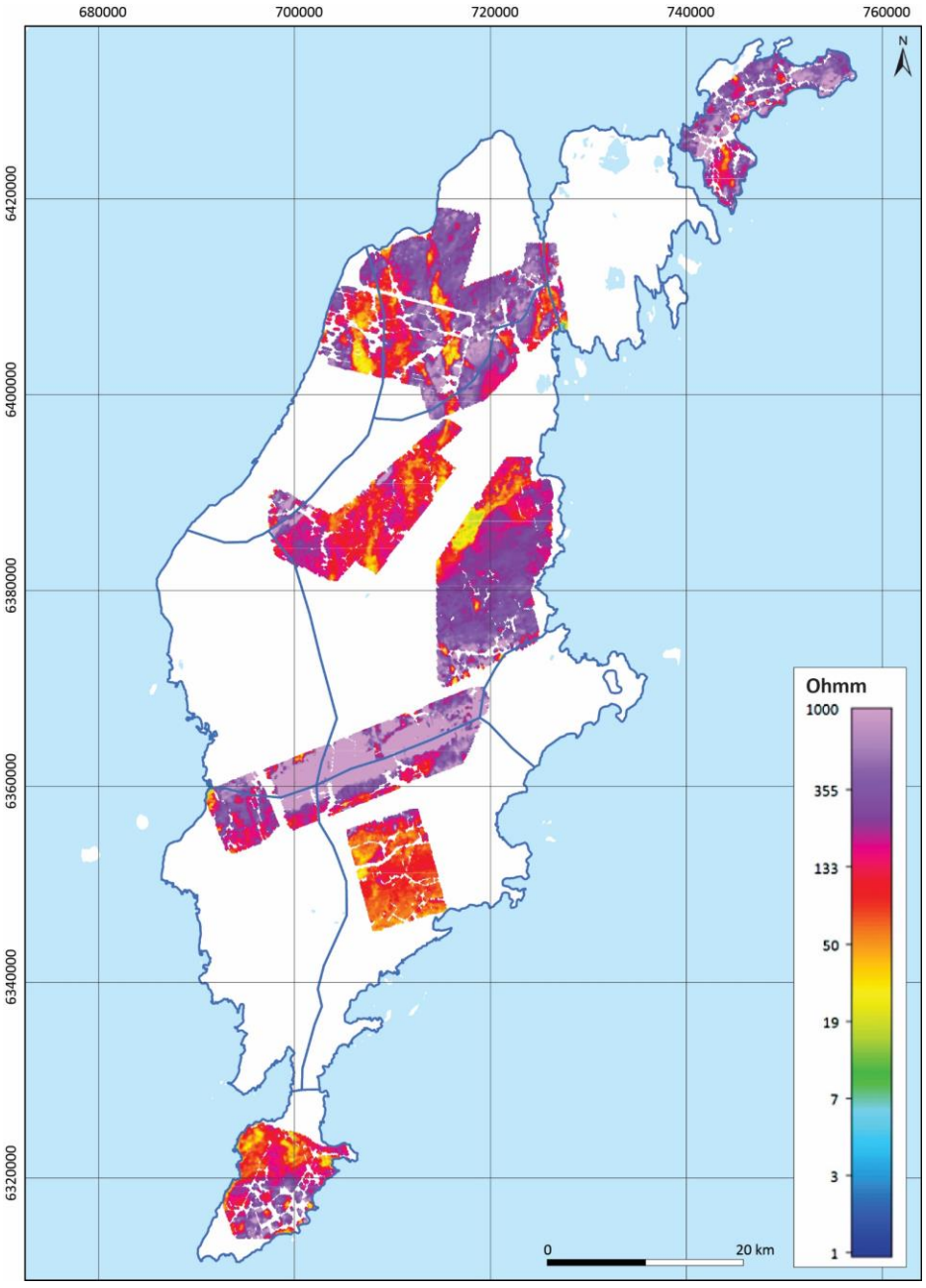
VIAK AB, 1982: Lojstahed, Geohydrologiska undersökningar, Gotlands kommun. (bilaga till SGU:s Utrednings-ID 5444, Vattendomsansökan 1993).

Vikberg, E., Thunholm, B, Thorsbrink, M. & Dahné, J., 2015: Grundvattennivåer i ett förändrat klimat – nya klimatscenarier. *SGU-rapport 2015:19*, Sveriges geologiska undersökning.

BILAGA 1. NYTILLKOMMET UNDERLAG

SkyTEM

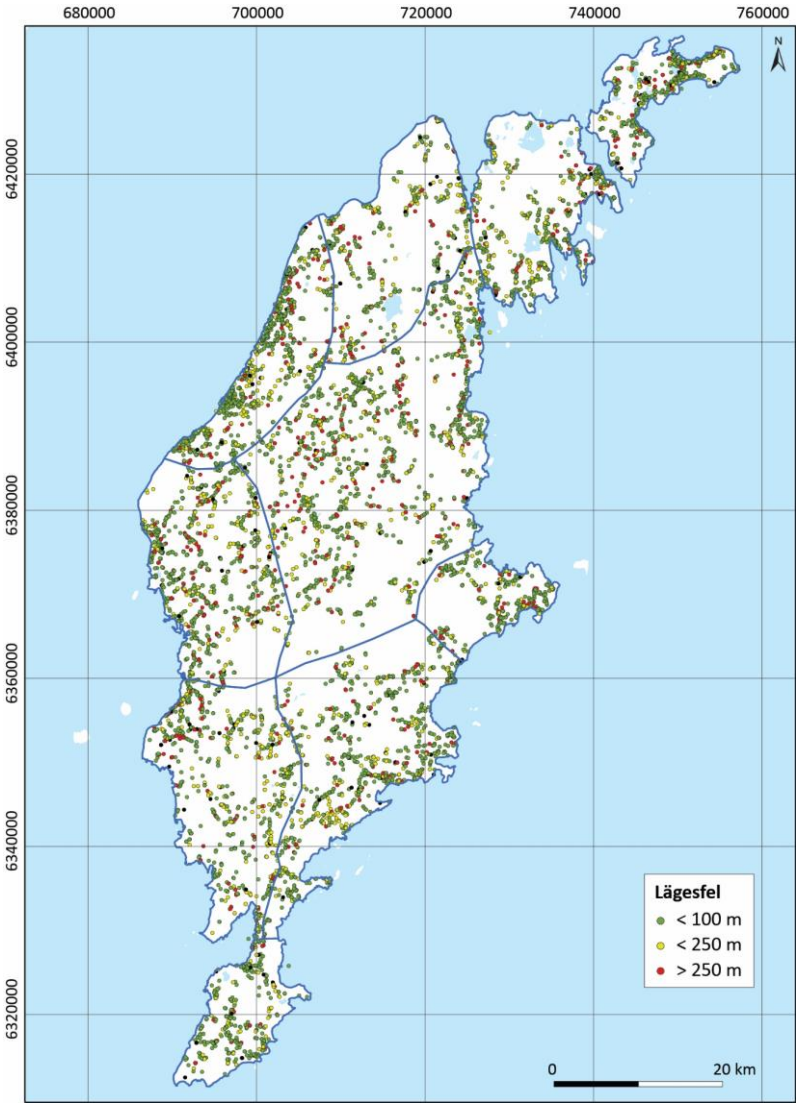
SGU har under åren 2013–2016 utfört så kallade SkyTEM-undersökningar inom åtta områden på Gotland (fig. 78). Totalt har ca 1 100 km^2 undersökts vilket är ca 37 % av Gotlands yta. Den resistivitetsdata som tillkommit via projekten består av cirka 160 000 geofysiska sonderingar, vilket motsvarar cirka 145 sonderingar per km^2. En geofysisk sondering kan liknas vid en borrning men i stället för en borrkärna eller borrkax får man geofysisk information, i detta fall resistivitet, om geologin. Det betyder att det finns 160 000 geofysiska lagerföljder som kan tolkas till lagerföljder. Information om bearbetning av data finns i Persson (2021). Utförlig beskrivning av SkyTEM-metoden, undersökningarna på Gotland samt användningsområde beskrivs i Dahlqvist m.fl. (2015, 2017). Resistivitetsprofiler och kartor finns i SGU:s 3D-visare.



Figur 78. Områden på Gotland som undersökts med SkyTEM-metoden. Figuren visar resistiviteten (Ohmm) vid marknivån.

Borrningar

Brunnsarkivet har uppdaterats och jämfört med den senaste hydrogeologiska kartan över Gotland (SGU Ah 4, 1982, baserad på cirka 2000 brunnar) utökats väsentligt med information om till exempel lagerföljd, uppskattad kapacitet, och saltpåverkan. Brunnsarkivet rymmer idag cirka 8600 brunnar (fig. 79). SGU har utfört samt inhämtat information från jordsonderingar från Trafikverket, Region Gotland samt några forskningsprojekt. I SkyTEM-projekten utfördes totalt 24 kaxborrningar i berggrunden till 30–130 m djup (Dahlqvist m.fl. 2015, 2017). Förutom detaljerade lagerföljder och uppskattad uttagskapacitet från brunnsborrarna har SGU även utfört mätningar av grundvattennivåer, temperatur och konduktivitetsmätningar i samtliga brunnar. Några av brunnarna har undersökts med geofysisk borrhålsloggning (se avsnitt *Markbaserade geofysiska undersökningar*) och vissa har korttidsprovpumpats. Resultatet från korttidsprov-pumpningarna har använts för att få fram ett mer rättvisande värde på hydraulisk konduktivitet från SGU:s brunnsarkiv (Ryd 2017) och utgör underlag för de bedömningar av K-värde (fig. 11) och grundvattentillgång i små magasin (fig. 20). Vissa rör har även periodvis haft nivåloggers för kontinuerlig nivåmätning och vissa ingår idag i SGU:s nationella övervakningsprogram (se avsnitt *Övervakning grundvattennivåer*).



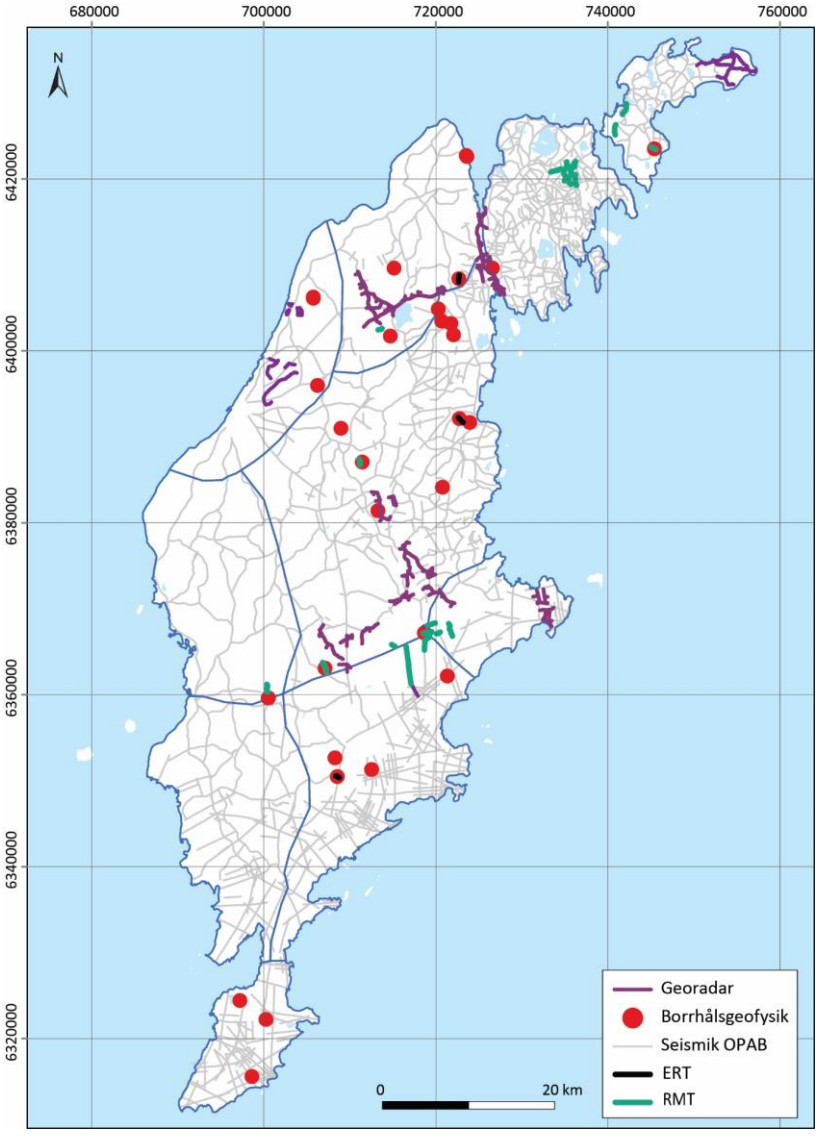
Figur 79. Borrningar på Gotland som finns i SGU:s databas Brunnsarkivet.

Markbaserade geofysiska undersökningar

Under SkyTEM-projekten har SGU utfört borrhålsgeofysik i totalt 24 brunnar (fig. 80) var av 19 var SGU:s egna brunnar och 5 andra befintliga brunnar (Dahlqvist m.fl. 2015, 2017). Borrhålen har undersökts med olika sonder som mätt konduktivitet, resistivitet, gammastrålning och temperatur, för detaljerad information kring loggning och metodik se Alm (2014, 2015, 2016). Underlaget har framför allt använts vid tolkning av SkyTEM-data och som underlag för geologisk 3D modell (se avsnitt *3D-modell*).

SGU har vid olika tillfällen utfört undersökningar med georadar på Gotland. Georadar är en metod som använder elektromagnetiska vågor som reflekteras när de elektriska egenskaperna i marken förändras. Profilernas läge visas i figur 80. Mätresultaten har använts för att tolka jordlagrens lagerföljd och grundvattenytans läge.

I samband med SkyTEM-undersökningarna har SGU utfört profilmätningar med RMT (radio-magnetotellurik), ERT (elektrisk resistivitetstomografi), IP (inducerad polarisation) för att få en mer detaljerad information om resistivitetsfördelning (ERT+RMT) och laddningsbarhet (IP) i marken. Profilernas läge visas i figur 80.



Figur 80. Geofysiska mark-undersökningar på Gotland (SGU databas).

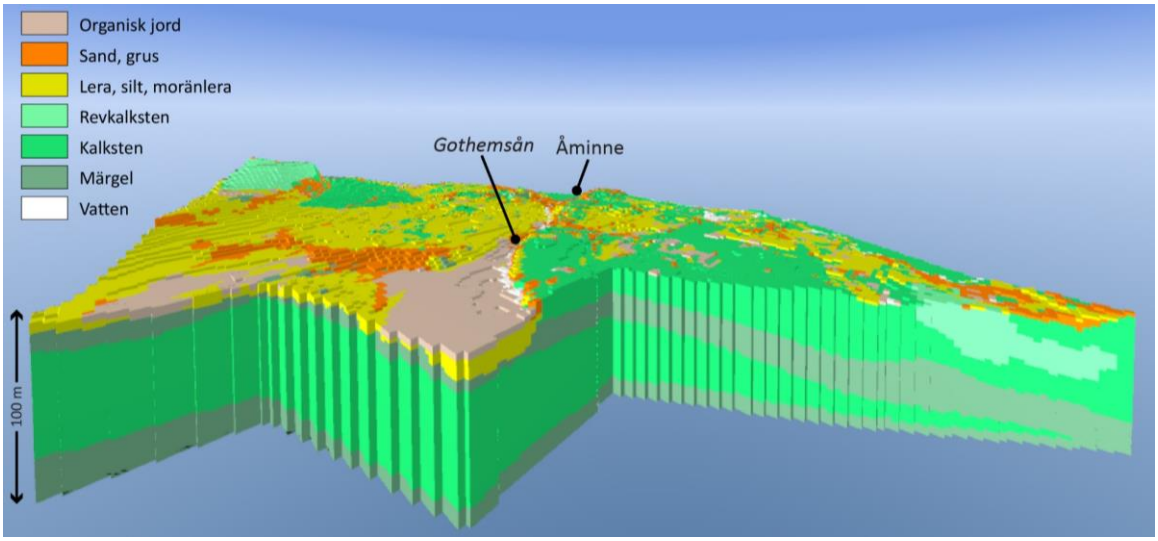
3D-modell

Data i såväl fysisk, exempelvis borrningar, som geofysisk form, till exempel resistivitetsdata, har bearbetats i ett 3D-program och ett antal heltäckande 3D-modeller har skapats. I punktlistan beskrivs kortfattat de olika modellerna, för utförligare beskrivning se Persson (2021). De olika 3D-modellerna finns i SGU:s 3D-visare och har använts för tolkningar i denna rapport:

- **Resistivitetsmodell**. Modellen är en voxelmodell som består av resistivitetsdata framtagna från flygburna TEM-mätningar som har interpolerats över de områden som täcks av mätningarna. Voxelmodellen finns i två storlekar, en med högre vertikal upplösning (100 × 100 × 2 m) ner till 76 m under havsytans nivå och en med lägre upplösning (100 × 100 × 5 m) ner till 250 m under havsytans nivå.
- **Stratigrafisk lager- och voxelmodell** (fig.81). Modellen visar den sedimentära berggrunden på Gotland som innefattar berggrundsavsnittet från Hamraformationen i silur ner till ca 250 m under havsytans nivå motsvarande djupet till toppen av den ordoviciska berggrunden. Cellstorleken på voxelmodellen är 100 × 100 × 5 m.
- **Litologisk voxelmodell**. Modellen visar berggrunden och jordlagren som slagits ihop till en gemensam modell med cellstorleken 100 × 100 × 2 m. Den litologiska modellen går ner till 76 m under havsytans nivå.
- **Saltvattenmodell**. Modellen finns både som lagermodell (gräns till salt grundvatten) och voxelmodell. Voxelmodellen består av två klasser, för salt och sött vatten, som visas med en cellstorlek på 100 × 100 × 2 m.

Våtmarker och förstärkt grundvattenbildning

Under 2016 studerade SGU de geologiska och hydrogeologiska förutsättningarna för att öka den årliga grundvattenbildningen och därmed dricksvattenkapaciteten vid befintliga vattentäkter på Gotland. I SGU-rapport 2017:01(Dahlqvist m.fl. 2017) redovisas möjligheterna att öka kvantiteten vid dricksvattentäkter generellt och områden som är lämpliga för anläggande av våtmarker, dammar och infiltrationsanläggningar för att öka mängden grundvatten i angränsande grundvattenmagasin. Under 2019 sammanställde SGU också en rapport som på en mer generell nivå diskuterar geologins betydelse vid våtmarksåtgärder (Thorsbrink m.fl. 2019). I Dahlqvist m.fl. (2019) presenteras en GIS-analys för potentialen för förstärkt grundvattenbildning på Gotland.



Figur 81. Stratigrafisk lagermodell och litologisk voxelmodell (från Persson 2021).

BILAGA 2. GRUNDVATTNETS KVALITET PÅ GOTLAND

Bilaga 2A. Medelvärde, standardavvikelse samt percentilfördelning i grundvatten på Gotland. Data från Grundvattenövervakning, vattentäktsarkiv och enskilda brunnar. Statistik som bygger på färre än 100 prov har markerats med grå färg. Ifall flera analyser finns från samma brunn har ett medelvärde använts. Data från hela Sverige ges för jämförelse.

		GOTLAND								SVERIGE							
Parameter	**Akvifer**	**N**	**Medel**	**St.avv.**	**25%**	**50%**	**75%**	**95%**	**99%**	**N**	**Medel**	**St.avv.**	**25%**	**50%**	**75%**	**95%**	**99%**
pH	JORD	126	7,8	0,36	7,6	7,8	8,0	8,5	8,6	26 916	6,9	0,74	6,30	6,8	7,4	8,1	8,5
	BERG	615	7,8	0,35	7,6	7,8	8,1	8,4	8,7	50 080	7,6	0,62	7,30	7,7	8,1	8,5	8,9
Alkalinitet mg HCO3/l	JORD	144	319	96,0	262	320	367	500	550	26 753	102	138	23,0	53,2	150	333	437
	BERG	686	307	76,4	270	311	360	420	480	49 896	184	103	110	174	250	367	450
COD Mn mg/l	JORD	126	7,9	9,2	2,4	4,8	8,2	25,0	46,0	24 220	3,9	7,1	0,85	2,0	4,2	14,0	33,0
	BERG	608	3,4	3,5	1,4	2,6	4,1	9,1	16,0	48 337	2,7	4,0	0,56	1,6	3,4	9,2	18,0
Färg mgPt/l	JORD	134	36,7	60,5	7,3	15,0	35,0	170	320	16 859	15,8	33,5	<	6,6	17,0	62,0	150
	BERG	650	14,3	23,8	3,7	8,3	17,0	45,0	120	44 994	16,4	31,0	<	10,0	20,0	60,0	140
Turbiditet FNU	JORD	118	3,6	9,0	0,25	0,77	2,5	24,0	42,0	15 135	3,7	12,9	0,21	0,64	2,4	15,9	51,0
	BERG	477	2,7	8,6	0,26	0,60	1,9	9,8	32,0	31 395	4,3	19,1	0,23	0,66	2,6	17,0	61,0
Klorid mg/l	JORD	153	133	1045	10,0	16,0	33,0	200	840	24 762	23,8	118	5,30	11,0	22,0	68,3	210
	BERG	758	194	407	19,0	47,5	190	830	2500	49 849	51,9	170	8,00	15,0	35,0	198	705
Sulfat mg/l	JORD	141	48,6	76,0	14,0	27,0	52,0	150	440	25 769	19,6	26,7	7,50	13,0	23,0	56,0	110
	BERG	593	51,4	43,6	25,0	41,0	62,0	120	214	43 373	26,5	34,1	11,0	18,0	31,5	71,0	140
Konduktivitet mS/m	JORD	142	92,8	274	49,5	62,9	77,5	120	380	26 030	30,2	41,3	11,6	20,6	40,0	76,8	130
	BERG	667	118	173	63,0	78,0	120	290	665	46 254	50,9	60,0	25,8	39,5	58,2	117	276
Ammonium mg/l	JORD	150	0,12	0,32	<	0,02	0,08	0,71	1,4	19 417	0,08	0,98	<	<	0,03	0,27	1,2
	BERG	694	0,20	0,32	<	0,07	0,26	0,86	1,3	44 699	0,09	0,40	<	<	0,07	0,38	1,0
Nitrit mg/l	JORD	149	0,01	0,04	<	<	0,01	0,12	0,21	18 520	0,04	2,8	<	<	0,01	0,04	0,18
	BERG	746	0,02	0,12	<	<	0,01	0,09	0,50	46 976	0,01	0,29	<	<	<	0,04	0,20
Nitrat mg/l	JORD	151	8,4	16,0	<	1,9	9,3	43,0	91,2	19 574	8,5	16,0	<	2,3	10,0	37,0	75,0
	BERG	761	4,0	13,6	<	0,27	2,6	19,5	57,6	47 350	2,4	8,7	<	<	0,80	13,3	39,0
Aluminium mg/l	JORD	33	0,02	0,05	<	0,003	0,02	0,09	0,26	11 983	0,10	0,61	0,003	0,02	0,07	0,38	0,99
	BERG	207	0,01	0,03	<	0,002	0,01	0,06	0,15	19 074	0,06	0,69	0,001	0,006	0,02	0,23	0,69
Järn mg/l	JORD	149	0,50	1,2	0,02	0,12	0,46	1,7	6,0	22 503	0,57	7,8	0,001	0,08	0,33	2,3	7,3
	BERG	754	0,31	0,70	0,03	0,12	0,30	1,2	3,2	48 178	0,66	6,7	0,03	0,14	0,47	2,5	7,2
Mangan mg/l	JORD	149	0,05	0,19	<	0,01	0,03	0,29	0,90	22 225	0,21	11,1	<	0,01	0,08	0,46	1,4
	BERG	758	0,01	0,03	<	0,002	0,01	0,05	0,16	48 033	0,18	1,5	0,001	0,06	0,19	0,62	1,4
Arsenik µg/l	JORD	71	0,97	1,3	0,33	0,54	1,1	3,0	9,4	10 446	0,79	11,1	0,10	0,24	0,52	2,1	7,2
	BERG	331	0,78	1,1	0,27	0,47	0,9	2,5	5,5	21 120	1,5	9,3	0,14	0,34	0,84	4,9	20,0
Antimon µg/l	JORD	7	0,23	0,15	0,08	0,28	0,33	0,45	0,45	7 470	0,08	0,57	<	<	0,10	0,32	0,80
	BERG	34	0,09	0,15	<	0,01	0,13	0,50	0,64	15 845	0,09	0,55	<	<	<	0,34	1,1
Uran µg/l	JORD	68	1,2	1,4	0,37	0,88	1,6	4,0	8,3	9 447	4,9	23,7	0,09	0,47	3,1	22,0	59,0
	BERG	330	0,96	2,1	0,11	0,43	1,1	3,2	9,2	21 342	13,8	44,0	0,82	3,5	12,0	56,0	160
Bly µg/l	JORD	71	1,9	5,7	0,19	0,48	1,2	7,4	43,0	10 065	2,8	57,8	0,20	0,68	1,7	6,2	18,0
	BERG	330	0,84	1,5	0,14	0,37	0,91	3,4	8,8	20 165	2,5	20,3	0,19	0,57	1,6	7,8	28,0
Kadmium µg/l	JORD	33	0,03	0,05	0,004	0,01	0,03	0,18	0,25	9 891	0,39	31,2	<	0,02	0,05	0,22	0,81
	BERG	198	0,03	0,09	0,003	0,01	0,03	0,09	0,67	18 540	0,05	0,28	<	<	0,03	0,18	0,75
Koppar µg/l	JORD	131	65,6	187	<	21,0	60,0	290	730	20 555	218	1136	<	22,4	86,0	840	4400
	BERG	561	36,0	119	<	0,20	31,0	154	460	34 555	59,9	459	<	0,42	40,0	200	700
Krom µg/l	JORD	33	0,12	0,28	<	<	0,07	0,81	1,4	8 746	0,30	1,4	0,05	0,12	0,28	0,91	2,6
	BERG	196	0,24	0,85	<	<	0,07	1,7	3,9	17 256	0,33	3,5	<	0,10	0,25	1,0	3,0
Nickel µg/l	JORD	33	4,9	5,2	2,1	3,7	5,7	12,2	29,0	8 809	2,7	16,9	0,37	0,82	1,8	7,9	31,0
	BERG	196	3,2	2,3	1,2	3,0	4,5	7,4	9,6	17 608	2,7	39,4	0,23	0,57	1,4	6,3	26,0
Zink mg/l	JORD	28	0,04	0,05	0,004	0,02	0,05	0,14	0,21	3 078	0,12	1,2	0,002	0,009	0,03	0,30	1,7
	BERG	172	0,06	0,10	0,01	0,02	0,06	0,21	0,58	2 962	0,10	0,55	0,01	0,02	0,07	0,36	1,2
Kalcium mg/l	JORD	149	102	130	73,0	94,0	120	150	220	18 449	37,4	39,3	11,0	22,0	53,0	110	150
	BERG	661	71,2	38,8	45,1	69,1	96,0	130	175	34 731	42,8	39,1	19,0	35,0	56,0	100	160
Kalium mg/l	JORD	149	10,3	20,3	1,3	3,4	8,7	41,1	120	18 132	4,4	8,5	1,00	2,4	4,7	15,0	40,0
	BERG	660	6,5	8,7	2,9	4,8	7,3	17,8	31,7	34 562	3,7	6,3	1,60	2,9	4,0	9,0	25,0
Magnesium mg/l	JORD	149	17,2	81,8	3,3	5,7	15,0	34,3	64,0	18 636	5,2	9,3	1,80	3,5	6,5	15,0	25,0
	BERG	661	23,7	19,1	13,2	22,0	29,0	48,0	91,4	34 867	7,1	7,7	3,40	5,5	8,5	17,1	32,0
Natrium mg/l	JORD	149	69,4	375	6,0	10,0	22,0	180	560	18 389	20,3	66,8	4,90	8,7	17,0	74,0	190
	BERG	646	107	173	16,1	48,5	130	380	920	34 592	56,9	84,6	12,0	31,0	72,0	180	380
Strontium µg/l	JORD	26	508	651	118	213	583	2205	2210	665	248	720	35,0	64,9	150	1167	3750
	BERG	173	919	1034	296	724	1202	2414	6485	966	457	1111	79,0	169	407	1598	4499
Bor mg/l	JORD	26	0,24	0,61	0,02	0,03	0,08	2,2	2,3	845	0,02	0,12	0,002	0,009	0,02	0,05	0,22
	BERG	181	1,0	1,0	0,15	0,64	1,6	3,2	3,9	803	0,27	0,66	0,01	0,02	0,10	1,8	3,2
Fluorid mg/l	JORD	140	0,15	0,25	<	<	0,24	0,77	1,0	19 002	0,35	0,57	0,03	0,20	0,42	1,2	2,4
	BERG	666	0,66	0,70	0,22	0,45	0,9	1,9	3,6	46 680	1,0	0,98	0,38	0,75	1,4	2,8	4,6
Fosfat mg/l	JORD	136	0,20	0,55	<	0,02	0,10	1,3	2,8	19 886	0,13	0,67	<	<	0,05	0,43	2,7
	BERG	576	0,07	0,26	<	<	0,03	0,34	1,7	40 666	0,08	3,2	<	<	0,03	0,22	1,2
Selen µg/l	JORD	31	2,1	3,9	0,06	0,63	2,4	9,1	16,9	7 466	0,16	0,68	<	<	<	1,1	3,0
	BERG	188	2,5	6,2	0,24	0,66	2,2	9,2	29,3	17 116	0,10	0,84	<	<	<	0,53	2,1
Radon Bq/l	JORD	1	29,0		29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	3 732	101	235	15,0	37,0	88,0	390	1100
	BERG	39	12,4	8,0	8,0	12,0	17,0	32,0	33,0	19 850	339	842	63,0	150	359	1197	2880
E Coli antal/100ml	JORD	210	8,6	42,4	<	<	1,0	31,0	290	16 925	13,6	391	<	<	<	10,0	170
	BERG	745	13,2	128	<	<	<	17,3	250	32 294	3,6	64,9	<	<	<	1,0	31,0
Koliforma antal/100ml	JORD	206	560	829	3,0	89,5	770	2400	2400	16 918	344	831	<	17,0	240	2400	2420
	BERG	730	182	493	<	5,0	65,8	1237	2400	32 278	99,1	597	<	<	7,0	461	2400
Mikroorg. antal/ml	JORD	209	1344	2300	140	540	1900	5000	>5000	16 916	849	2805	30,0	200	900	3100	5000
	BERG	738	767	1592	29,0	140	700	4500	5000	32 287	636	2048	8,00	65,0	450	3000	5000

Bilaga 2B. Medelvärde, standardavvikelse samt percentilfördelning för grundämnen som mer sällan analyseras. Data från Gotlands-provtagningen 2015 av enskilda brunnar (29 jord-, resp 168 berggrundvatten). Data från övriga Sverige ges som jämförelse, i denna datamängd ingår även data från allmänna vattentäkter och miljöövervakning (990 jord- resp. 192 berggrundvatten). Analyser från SGU:s lab. Värden under detektionsgränsen "<". Värden mellan detektions- och kvantifieringsgräns i kursiv stil. J = grundvatten i jord; B= grundvatten i berg. Värden i µg/l.

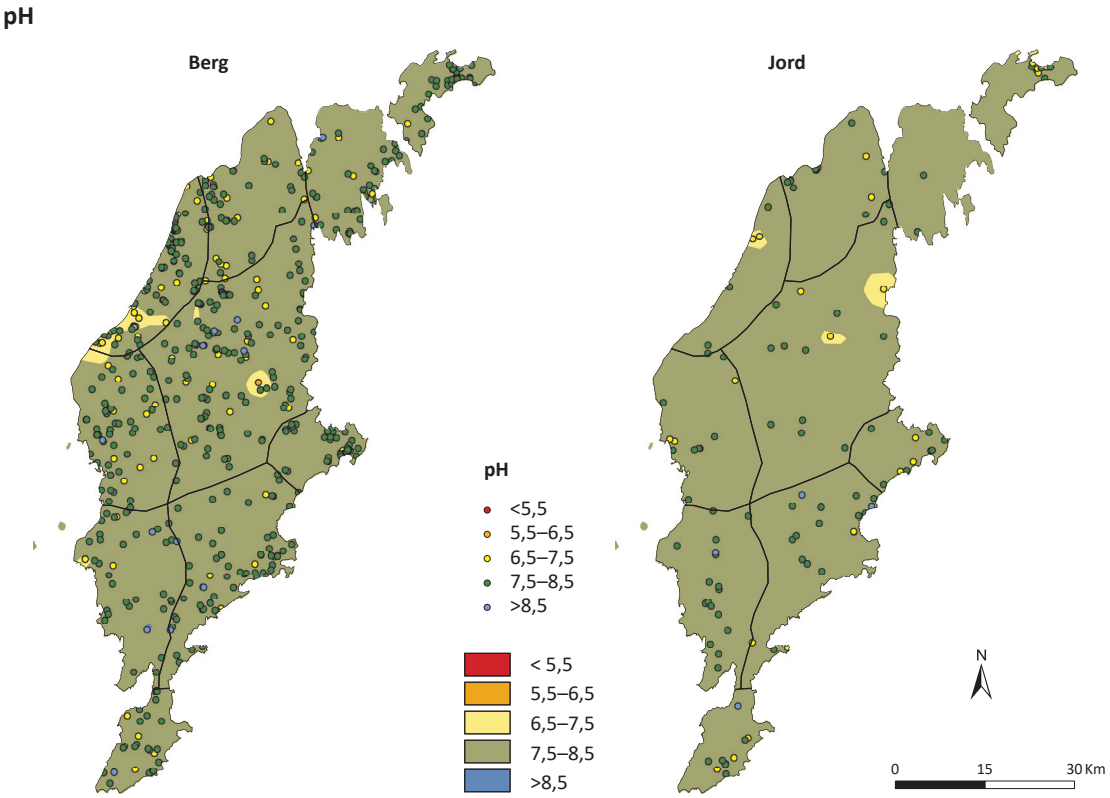
			GOTLAND							ÖVRIGA SVERIGE						
Grundämne		**J/B**	**Medelvärde**	**St.avv**	**10%**	**25%**	**50%**	**75%**	**90%**	**Medelvärde**	**St.avv**	**10%**	**25%**	**50%**	**75%**	**90%**
Litium	Li	J	11,92	27,01	0,15	0,67	1,14	4,39	107,3	2,84	5,03	0,14	0,39	1,34	3,49	7,22
	Li	B	29,86	37,40	3,32	7,67	20,20	38,02	64,94	7,23	7,23	0,90	2,07	4,97	9,64	15,87
Rubidium	Rb	J	2,64	2,79	0,34	0,52	1,53	3,51	5,74	2,19	4,72	0,20	0,49	1,22	2,33	4,58
	Rb	B	3,09	2,68	0,86	1,49	2,54	3,96	5,69	2,37	2,23	0,39	0,92	1,90	2,93	4,79
Beryllium	Be	J	*0,019*	0,035	<	<	*0,010*	*0,019*	*0,032*	0,045	0,11	<	<	*0,020*	0,043	0,110
	Be	B	<		<	<	<	<	*0,012*	0,054	0,13	<	<	*0,016*	0,050	0,123
Barium	Ba	J	52,3	79,8	5,9	11,5	31,0	48,0	87,3	26,2	42,0	2,8	5,8	12,3	29,1	59,0
	Ba	B	68,3	80,5	9,3	31,1	52,0	78,6	120,5	50,6	169,1	1,0	4,1	13,4	55,3	113,6
Germanium	Ge	J	0,043	0,096	<	<	*0,019*	0,029	0,064	*0,018*	0,046	<	<	*0,010*	0,020	0,030
	Ge	B	0,060	0,094	<	<	0,026	0,072	0,152	0,087	0,162	<	*0,010*	0,028	0,106	0,188
Skandium	Sc	J	1,45	0,66	0,58	0,86	1,38	1,93	2,34	1,98	1,45	0,93	1,32	1,76	2,33	3,05
	Sc	B	1,32	0,40	0,90	1,05	1,29	1,53	1,74	2,15	0,89	1,04	1,50	2,06	2,71	3,24
Titan	Ti	J	2,43	3,01	0,63	0,90	1,31	2,55	5,40	2,06	7,67	0,68	0,92	1,25	1,76	2,99
	Ti	B	1,46	1,29	0,59	0,80	1,10	1,69	2,70	1,67	1,49	0,74	1,02	1,37	1,83	2,60
Vanadin	V	J	1,08	1,16	0,22	0,42	0,74	1,00	2,44	0,45	1,08	*0,06*	*0,12*	0,23	0,42	0,84
	V	B	0,59	0,80	*0,11*	0,16	0,32	0,70	1,28	0,44	0,85	*0,05*	*0,10*	0,22	0,44	0,92
Kobolt	Co	J	0,24	0,22	0,07	0,11	0,16	0,31	0,40	0,39	1,30	*0,02*	*0,03*	0,08	0,19	0,83
	Co	B	0,19	0,22	0,04	0,07	0,14	0,21	0,35	0,15	0,61	*0,02*	*0,03*	0,05	0,10	0,19
Yttrium	Y	J	0,34	0,79	0,016	0,022	0,075	0,12	0,73	0,93	3,24	0,030	0,080	0,30	0,96	1,92
	Y	B	0,038	0,11	0,007	0,012	0,018	0,035	0,064	0,50	1,35	0,012	0,036	0,13	0,45	1,07
Zirkonium	Zr	J	0,44	0,59	*0,034*	0,072	0,15	0,55	1,20	0,11	0,29	<	<	*0,029*	0,10	0,25
	Zr	B	0,11	0,25	<	*0,018*	*0,044*	0,11	0,25	0,15	0,35	<	*0,014*	*0,042*	0,12	0,40
Niob	Nb	J	<		<	<	<	<	*0,051*	<		<	<	<	<	<
	Nb	B	<		<	<	<	<	<	<		<	<	<	<	<
Molybden	Mo	J	0,83	0,95	<	<	*0,46*	1,19	2,38	0,85	1,57	<	<	*0,31*	0,85	2,38
	Mo	B	1,13	1,83	<	*0,17*	*0,54*	1,29	2,53	2,70	4,28	<	*0,52*	1,34	3,03	6,04
Silver	Ag	J	*0,006*	0,00	<	<	*0,005*	*0,008*	0,012	<		<	<	<	<	*0,008*
	Ag	B	*0,008*	0,03	<	<	*0,004*	*0,006*	*0,011*	<		<	<	<	<	*0,005*
Tenn	Sn	J	<		<	<	<	<	<	<		<	<	<	<	<
	Sn	B	<		<	<	<	<	<	<		<	<	<	<	<
Lantan	La	J	0,40	1,25	<	*0,004*	0,020	0,067	0,38	1,14	4,47	0,010	0,039	0,22	0,86	2,67
	La	B	0,013	0,04	<	<	*0,003*	0,012	0,028	0,29	1,16	<	0,010	0,024	0,143	0,40
Cerium	Ce	J	0,75	2,33	<	<	*0,01*	0,13	0,72	1,29	8,22	<	*0,01*	0,08	0,66	2,62
	Ce	B	0,02	0,07	<	<	<	*0,01*	0,05	0,37	2,00	<	<	0,02	0,11	0,43
Praseodym	Pr	J	0,10	0,31	<	<	*0,007*	0,018	0,12	0,30	1,25	<	0,010	0,060	0,24	0,65
	Pr	B	*0,004*	0,01	<	<	<	*0,004*	0,010	0,074	0,28	<	<	*0,007*	0,034	0,13
Neodym	Nd	J	0,43	1,25	*0,006*	*0,012*	0,037	0,074	0,48	1,25	5,22	*0,010*	0,050	0,25	0,99	2,61
	Nd	B	0,024	0,06	<	<	*0,010*	0,019	0,05	0,31	1,11	<	*0,010*	0,030	0,17	0,61
Samarium	Sm	J	0,105	0,23	0,010	0,015	0,021	0,050	0,218	0,230	0,92	0,010	0,020	0,060	0,206	0,460
	Sm	B	0,032	0,03	0,008	0,016	0,027	0,037	0,054	0,075	0,21	<	0,010	0,022	0,052	0,136
Europium	Eu	J	0,029	0,04	*0,004*	*0,007*	0,010	0,024	0,085	0,037	0,14	<	*0,007*	0,014	0,035	0,070
	Eu	B	0,019	0,02	*0,003*	0,009	0,015	0,022	0,033	0,018	0,04	<	*0,002*	0,010	0,020	0,035
Gadolinium	Gd	J	0,089	0,24	<	*0,003*	0,009	0,023	0,132	0,223	0,86	<	0,010	0,051	0,207	0,471
	Gd	B	*0,005*	0,02	<	<	<	*0,005*	0,009	0,069	0,22	<	<	0,010	0,046	0,140
Terbium	Tb	J	0,012	0,03	<	<	<	*0,003*	0,019	0,028	0,11	<	<	0,010	0,028	0,060
	Tb	B	<		<	<	<	<	<	0,009	0,03	<	<	<	*0,007*	0,020
Dysprosium	Dy	J	0,059	0,14	<	*0,004*	0,012	0,015	0,119	0,148	0,54	<	0,010	0,040	0,140	0,301
	Dy	B	*0,005*	0,02	<	<	<	*0,005*	0,010	0,055	0,16	<	<	0,011	0,039	0,115
Holmium	Ho	J	0,012	0,03	<	<	<	*0,004*	0,024	0,032	0,11	<	<	0,010	0,030	0,065
	Ho	B	<	0,00	<	<	<	<	<	0,013	0,04	<	<	<	0,010	0,030
Erbium	Er	J	0,035	0,08	<	<	*0,006*	0,011	0,075	0,099	0,35	<	0,010	0,030	0,098	0,210
	Er	B	*0,004*	0,01	<	<	<	*0,004*	*0,007*	0,044	0,13	<	<	0,010	0,036	0,099
Tulium	Tm	J	0,005	0,01	<	<	<	<	0,011	0,014	0,05	<	<	*0,004*	0,012	0,030
	Tm	B	<		<	<	<	<	<	0,006	0,02	<	<	<	*0,005*	0,015
Ytterbium	Yb	J	0,029	0,07	<	<	<	0,010	0,069	0,092	0,33	<	0,010	0,030	0,089	0,194
	Yb	B	<		<	<	<	<	*0,004*	0,042	0,12	<	*0,003*	0,010	0,038	0,098
Lutetium	Lu	J	0,004	0,01	<	<	<	*0,003*	0,012	0,015	0,05	<	<	*0,006*	0,015	0,030
	Lu	B	<	0,00	<	<	<	<	<	0,007	0,02	<	<	<	*0,007*	0,016
Volfram	W	J	<		<	<	<	*0,051*	*0,082*	0,307	1,84	<	<	*0,040*	*0,106*	0,290
	W	B	*0,054*	0,06	<	<	<	*0,063*	0,128	0,547	1,21	<	<	*0,073*	0,340	1,761
Tallium	Tl	J	0,012	0,02	*0,002*	*0,003*	*0,004*	0,012	0,034	0,013	0,03	<	<	0,008	0,011	0,023
	Tl	B	0,019	0,02	<	*0,003*	0,013	0,025	0,042	0,007	0,01	<	<	<	0,009	0,018
Vismut	Bi	J	<		<	<	<	<	<	<		<	<	<	<	<
	Bi	B	<		<	<	<	<	<	<	0,01	<	<	<	<	<
Torium	Th	J	<		<	<	<	<	*0,053*	0,044	0,40	<	<	<	<	*0,063*
	Th	B	<		<	<	<	<	<	<		<	<	<	<	<

BILAGA 3. GRUNDVATTNETS KVALITET PÅ GOTLAND – KARTOR

Kartorna visar en generaliserad bild av grundvattenkvaliteten som tagits fram med interpolation. Den interpolationsmetod som använts är IDW (eng. *Inverse Distance Weighting*). Kartorna har skapats i ArcGis med rasterstorleken 2 500 m.

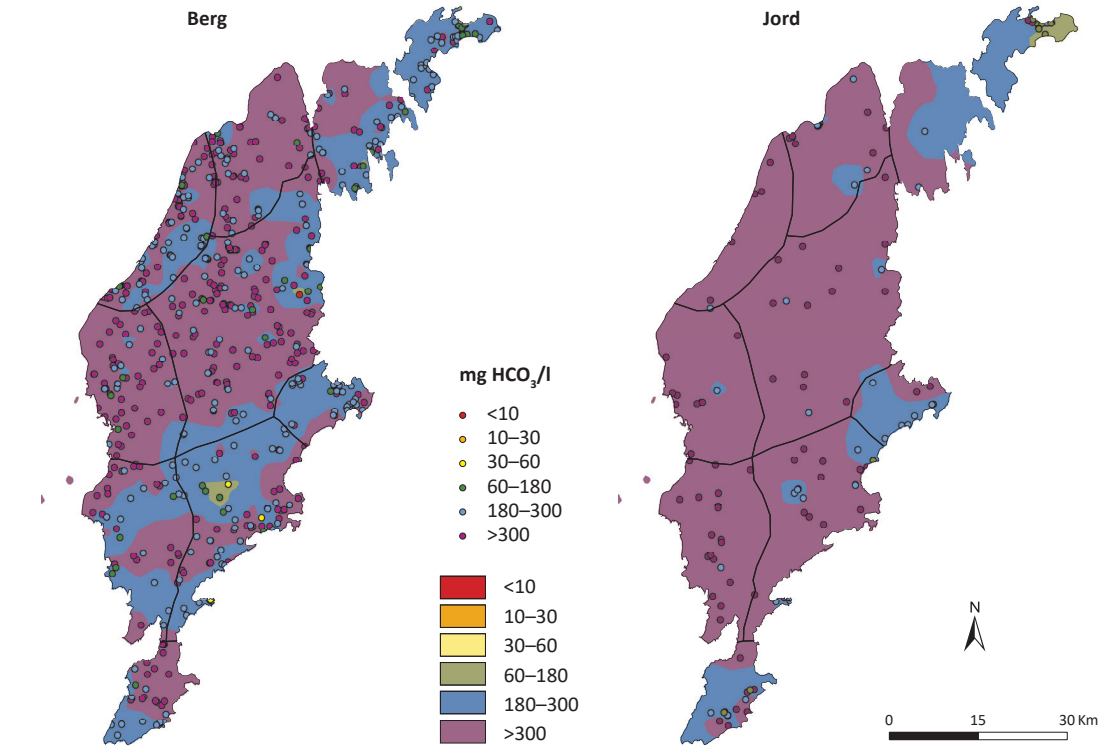
Det är för de flesta parametrar skillnad mellan grundvattenkvaliteten i bergborrade brunnar och brunnar i jordlagren. Därför presenteras två kartor, grundvatten i berg respektive grundvatten i jord. De analyserade brunnarnas halt framgår också av kartan. Observera att särskilt för brunnar i jord finns för några parametrar mycket få mätpunkter vilket ger stor osäkerhet i den interpolerade kartbilden.

pH



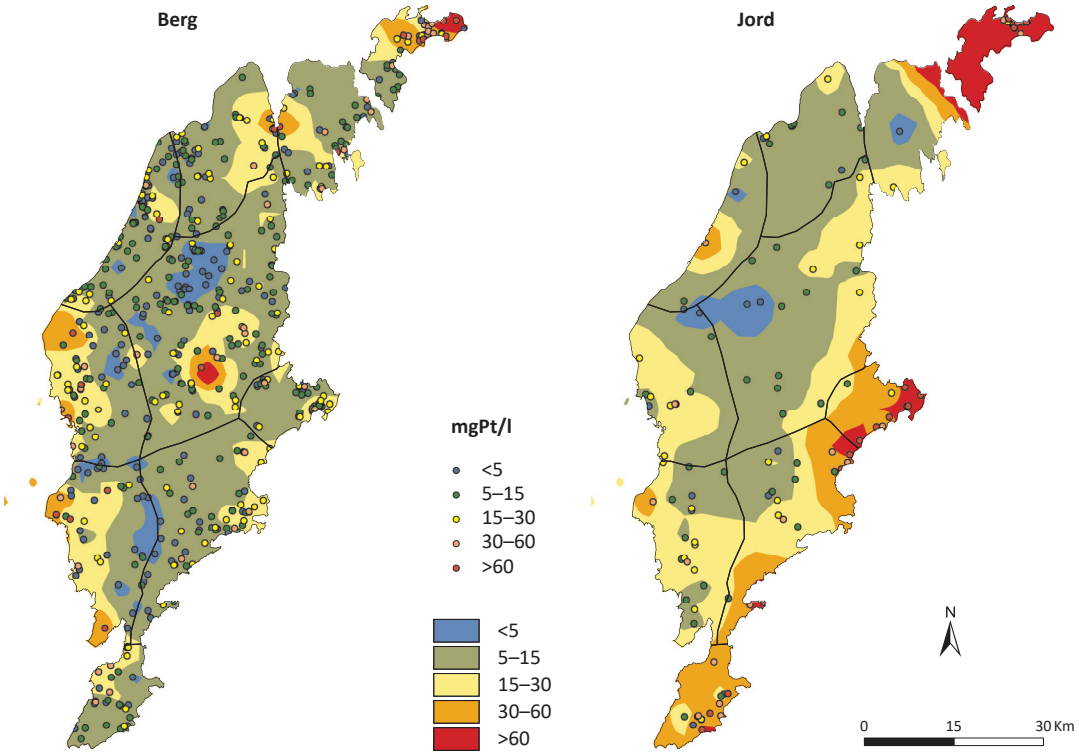
Figur 82. pH i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

Alkalinitet



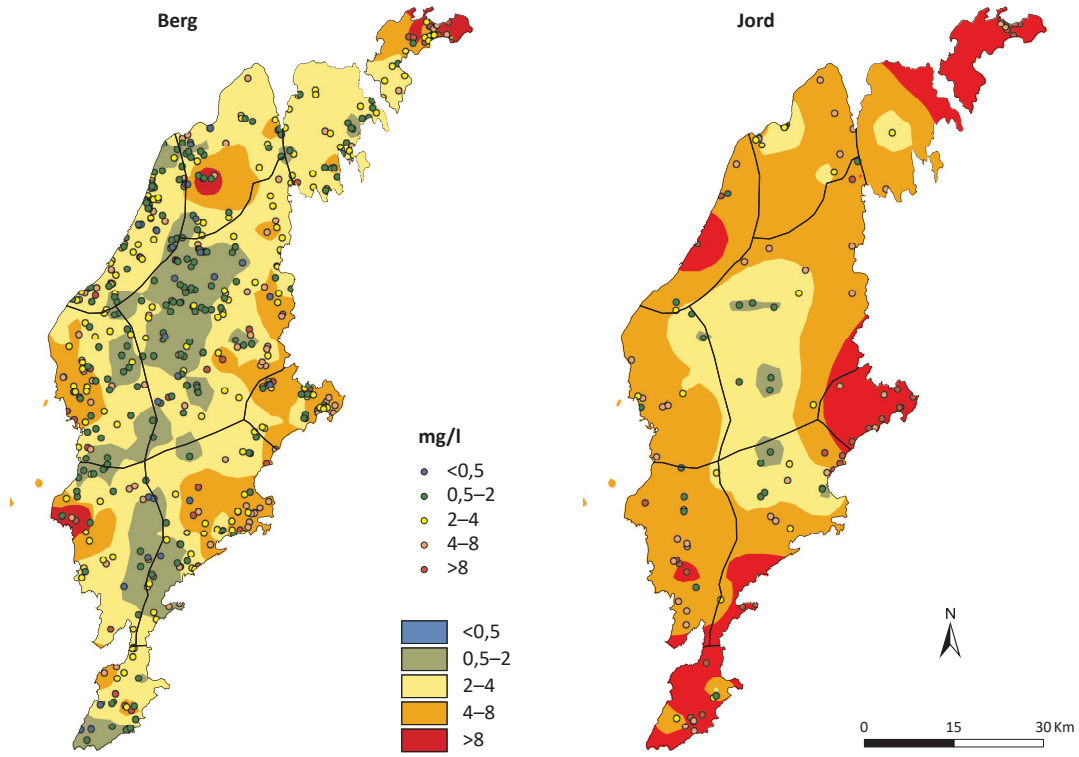
Figur 83. Alkalinitet (mg HCO_3/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

Färg



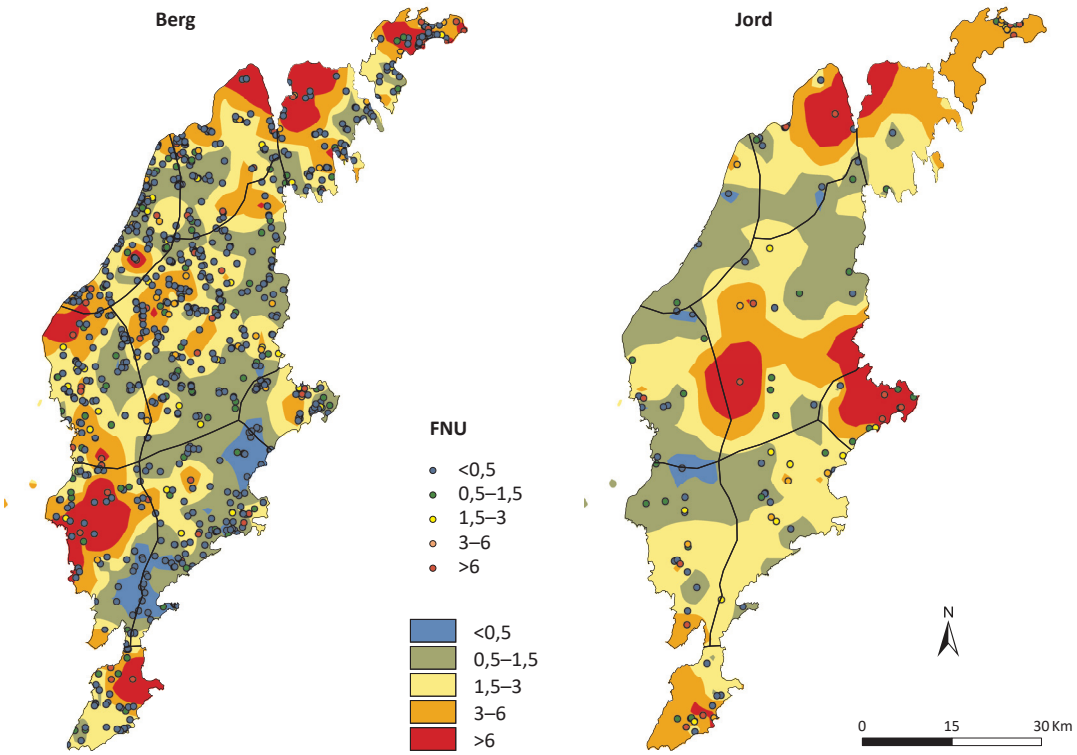
Figur 84. Färg (mg Pt/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

COD_{Mn}



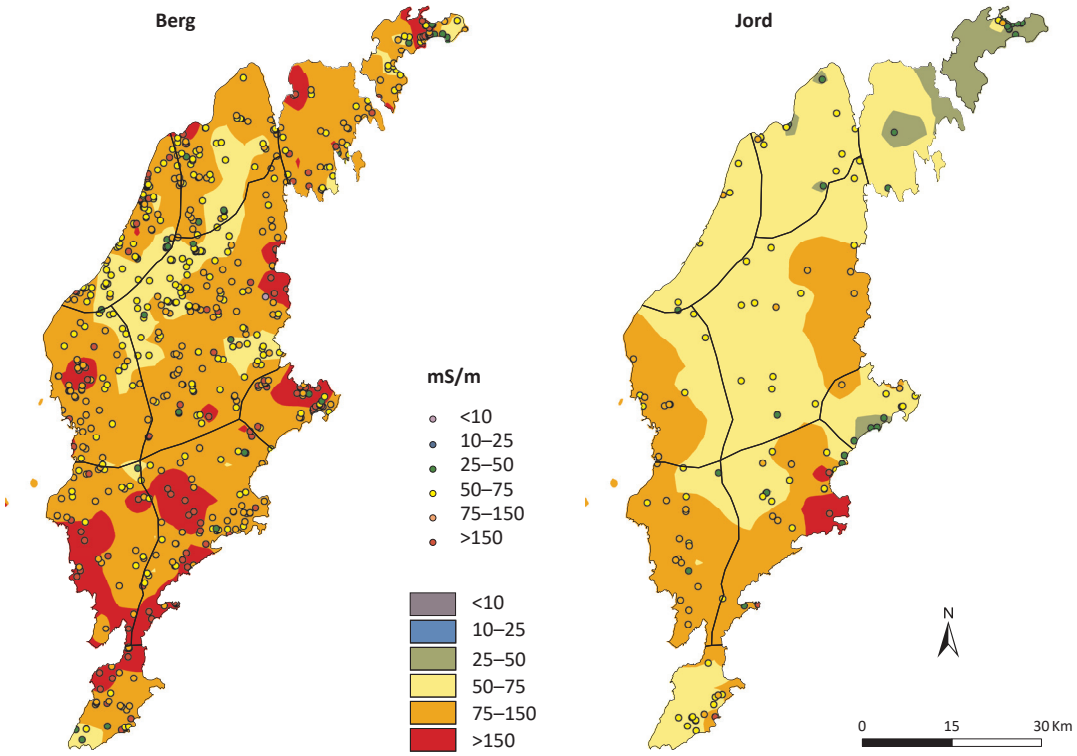
Figur 85. AlInnehåll av oxiderbara organiska ämnen COD_{Mn} (mg O_2/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

Turbiditet



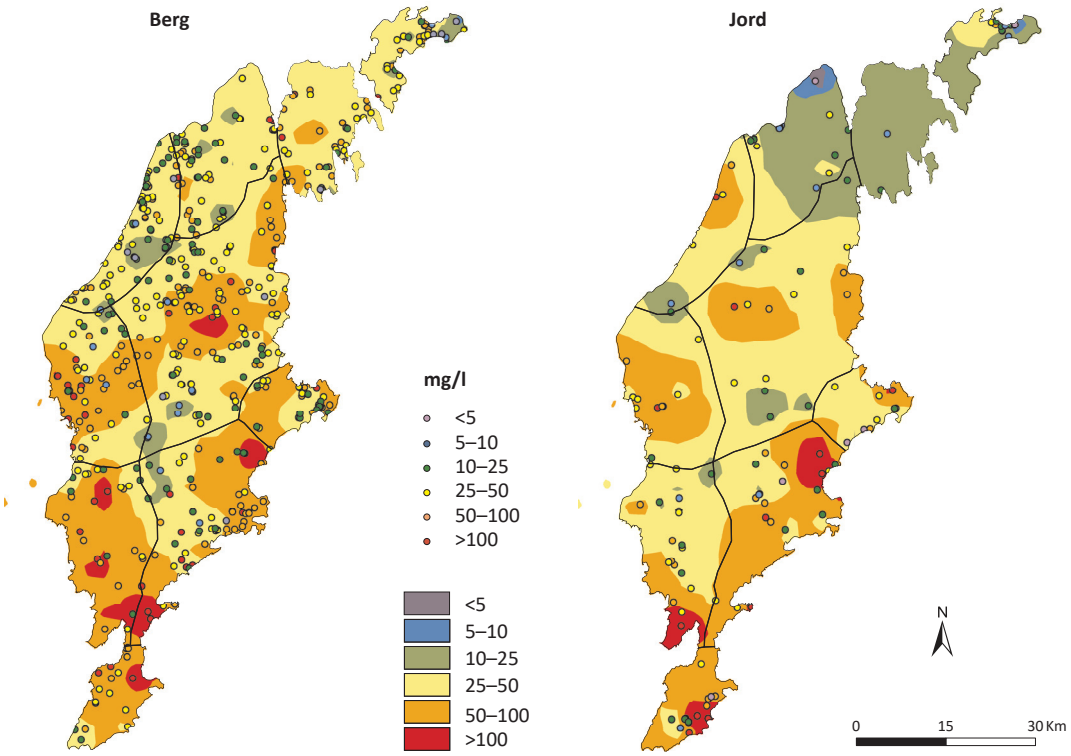
Figur 86. Turbiditet (FNU) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

Konduktivitet



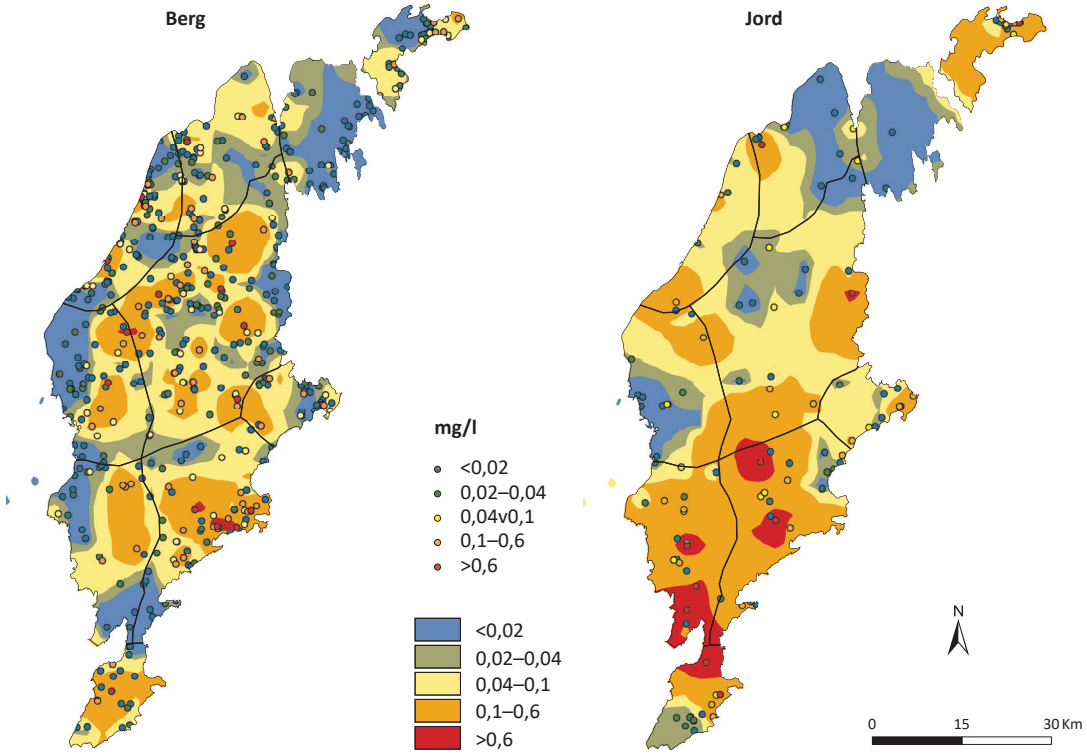
Figur 87. Konduktivitet (mS/m i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

Sulfat

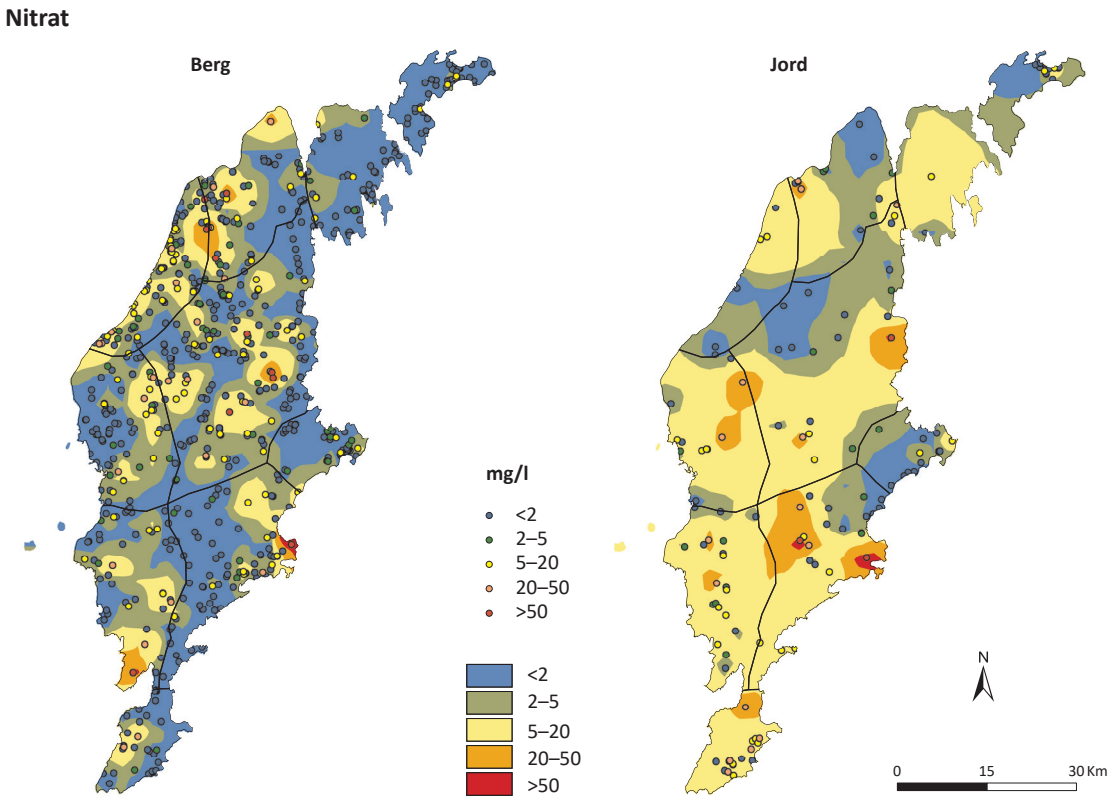


Figur 88. Sulfat (SO_4, mg/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

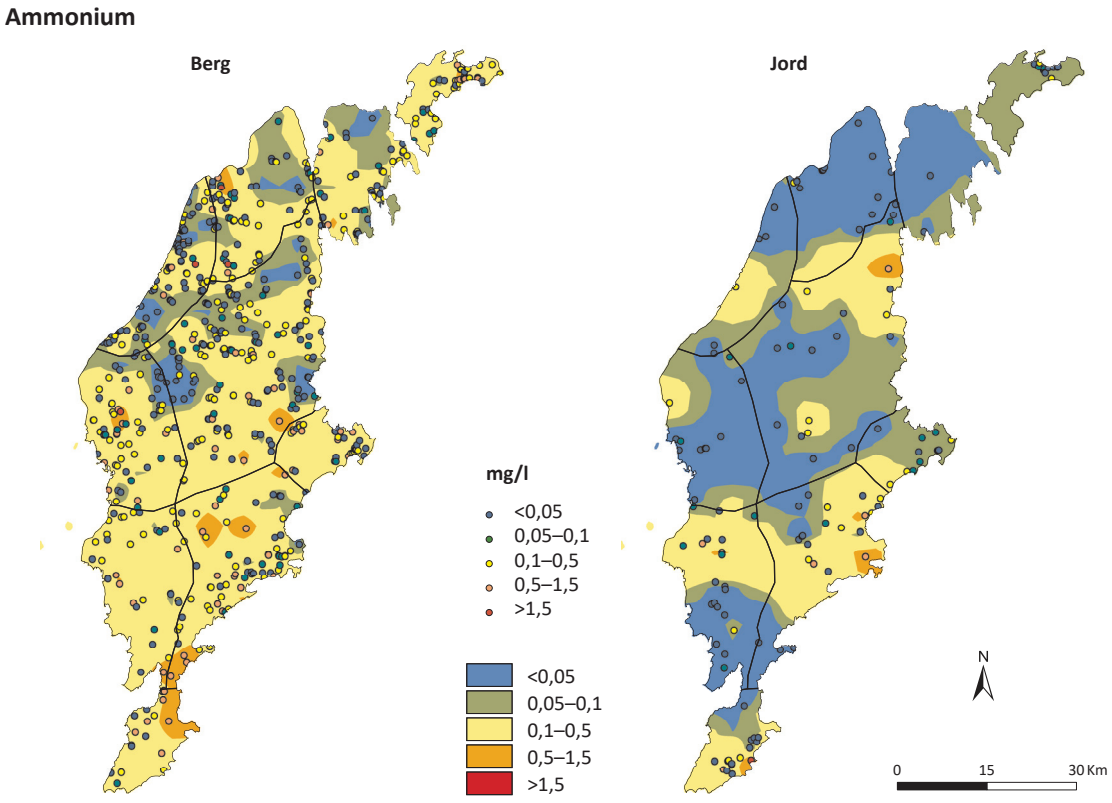
Fosfat



Figur 89. Fosfat (PO_4, mg/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

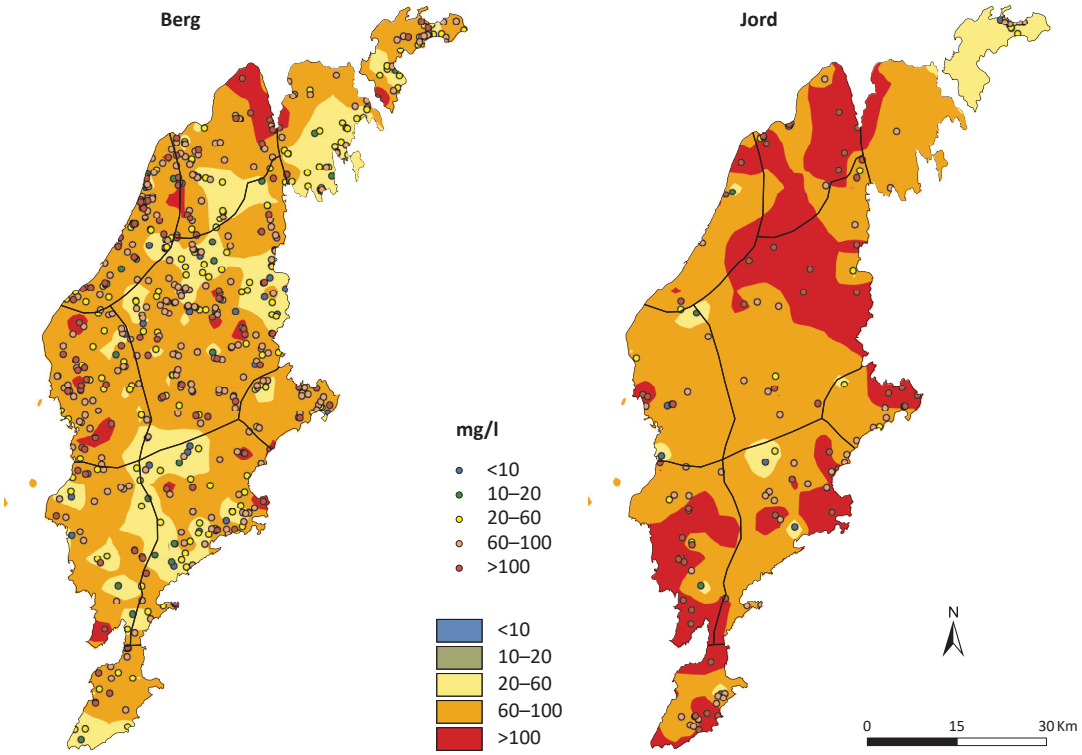


Figur 90. Nitrat (NO_3, mg/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).



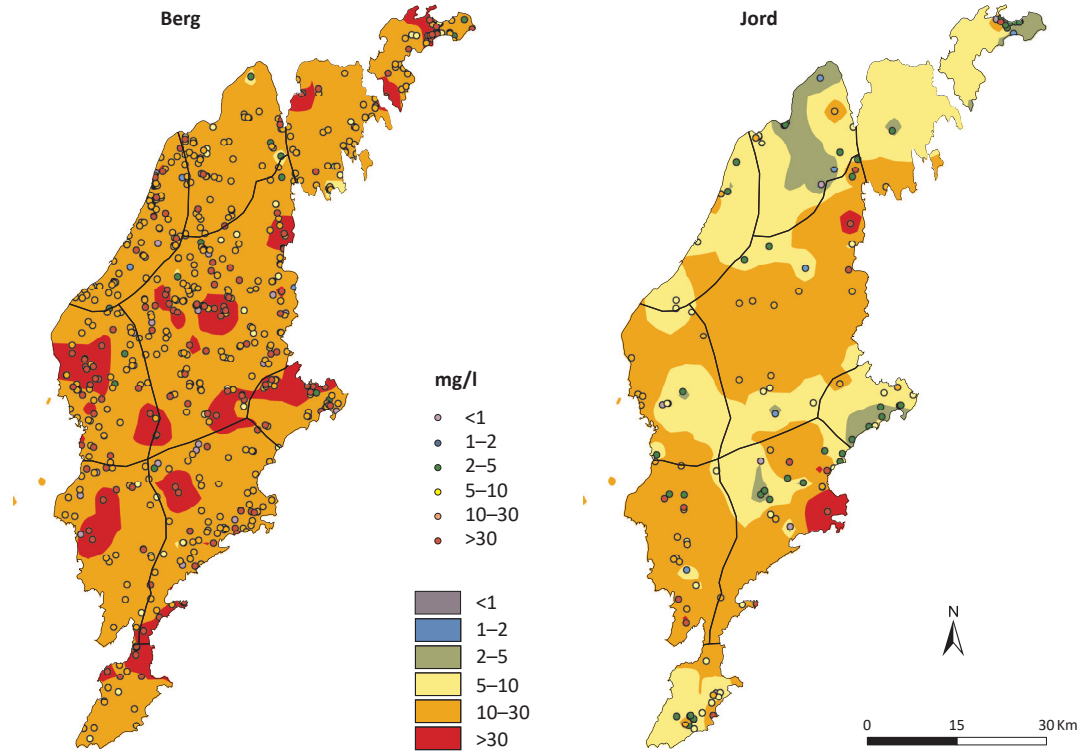
Figur 91. Ammonium (NH_4, mg/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

Kalcium



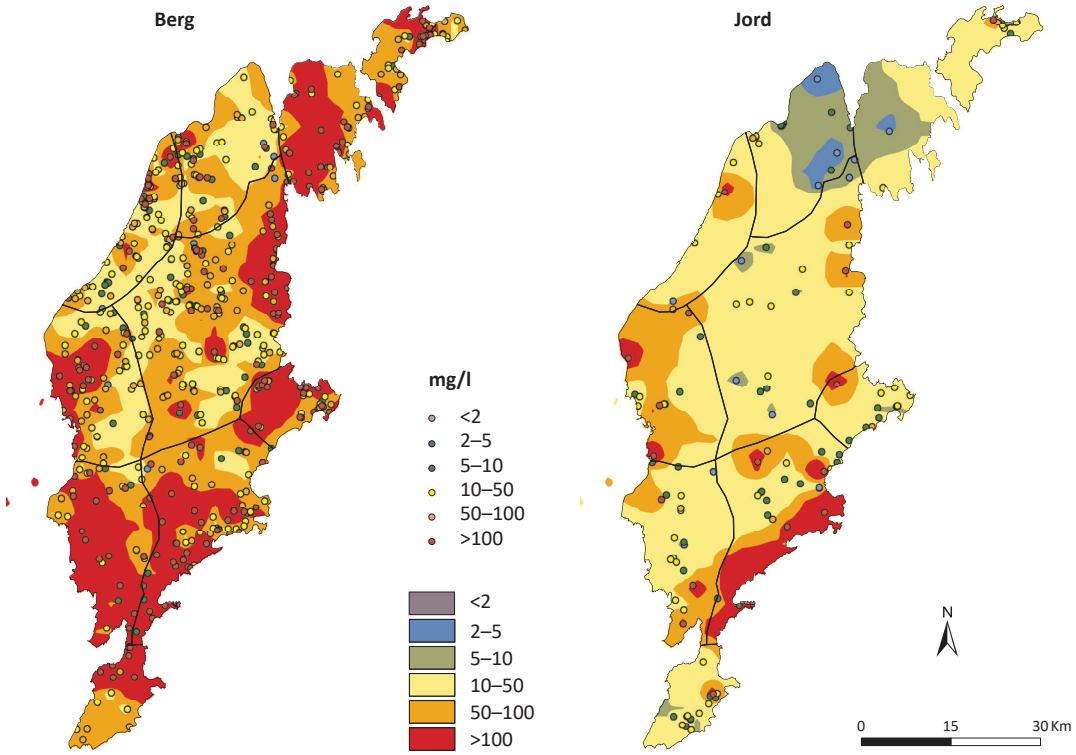
Figur 92. Kalcium (Ca, mg/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

Magnesium



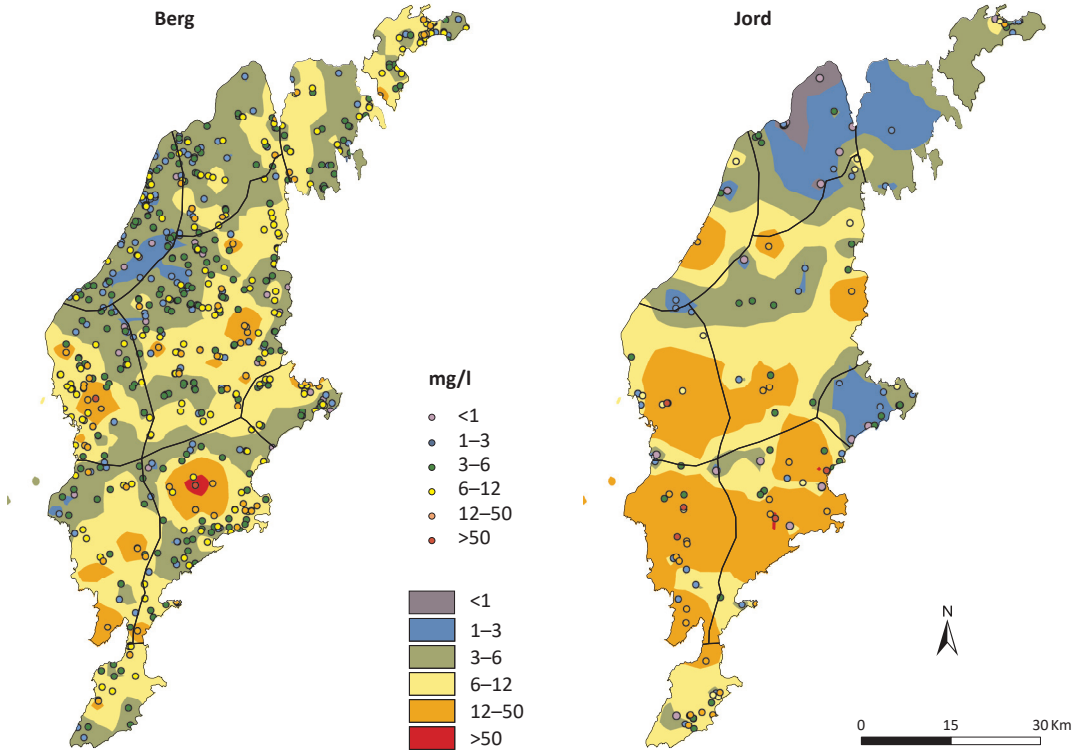
Figur 93. Magnesium (Mg, mg/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

Natrium



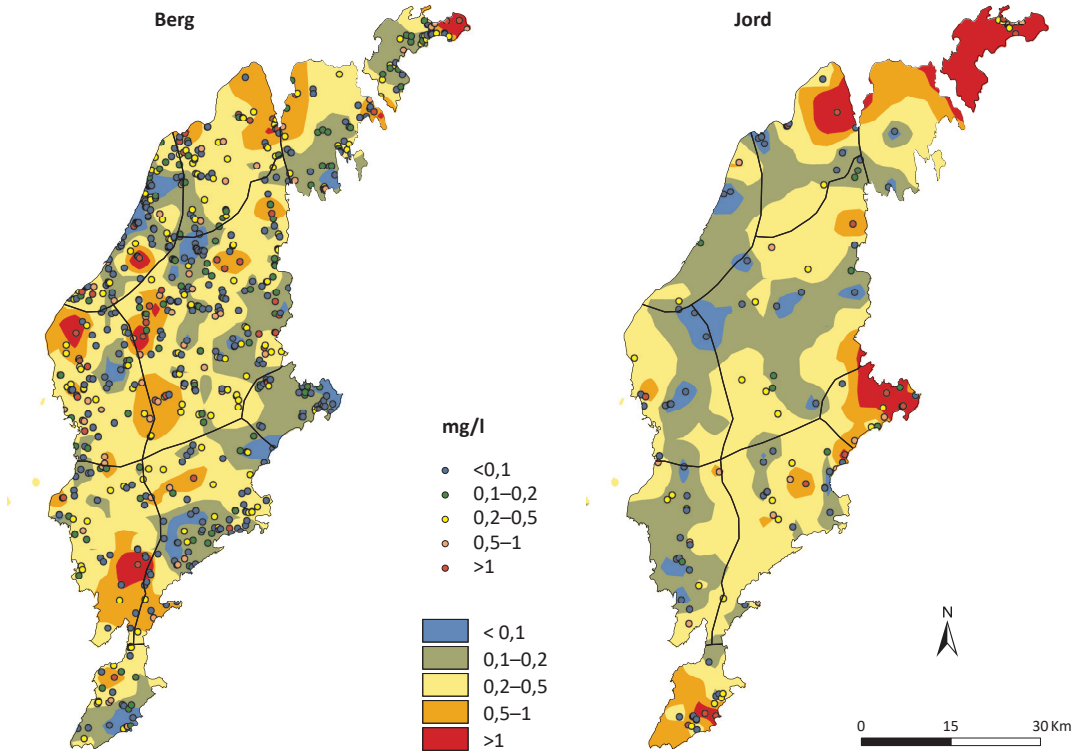
Figur 94. Natrium (Na, mg/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

Kalium



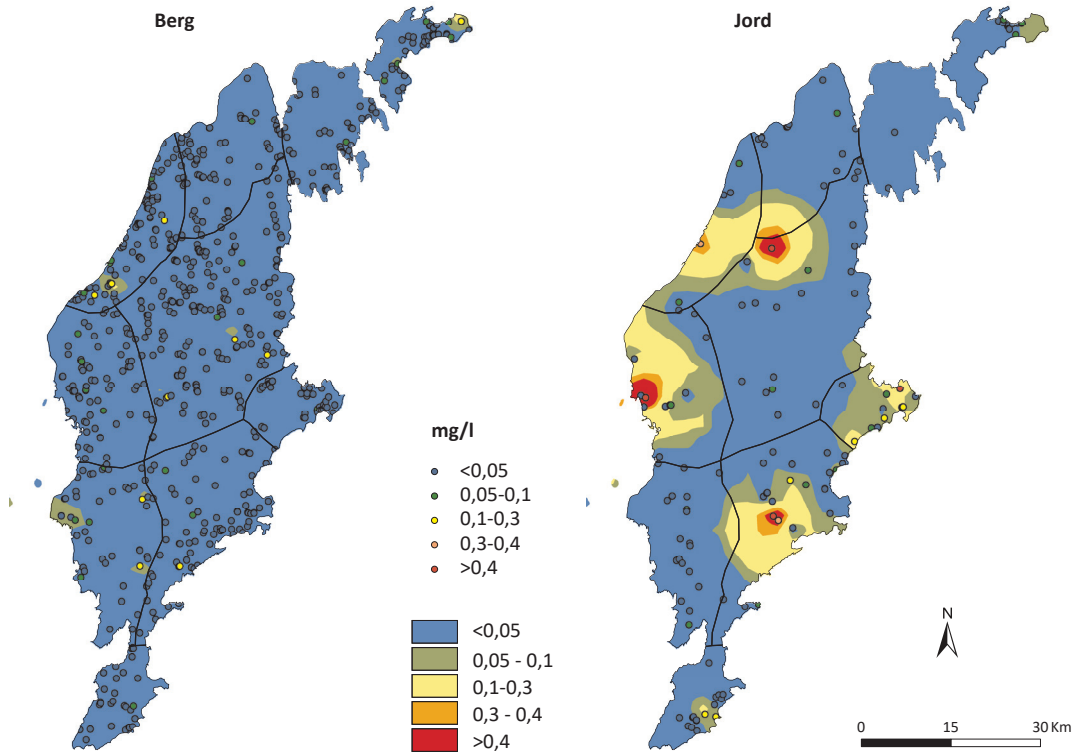
Figur 95. Kalium (K, mg/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

Järn



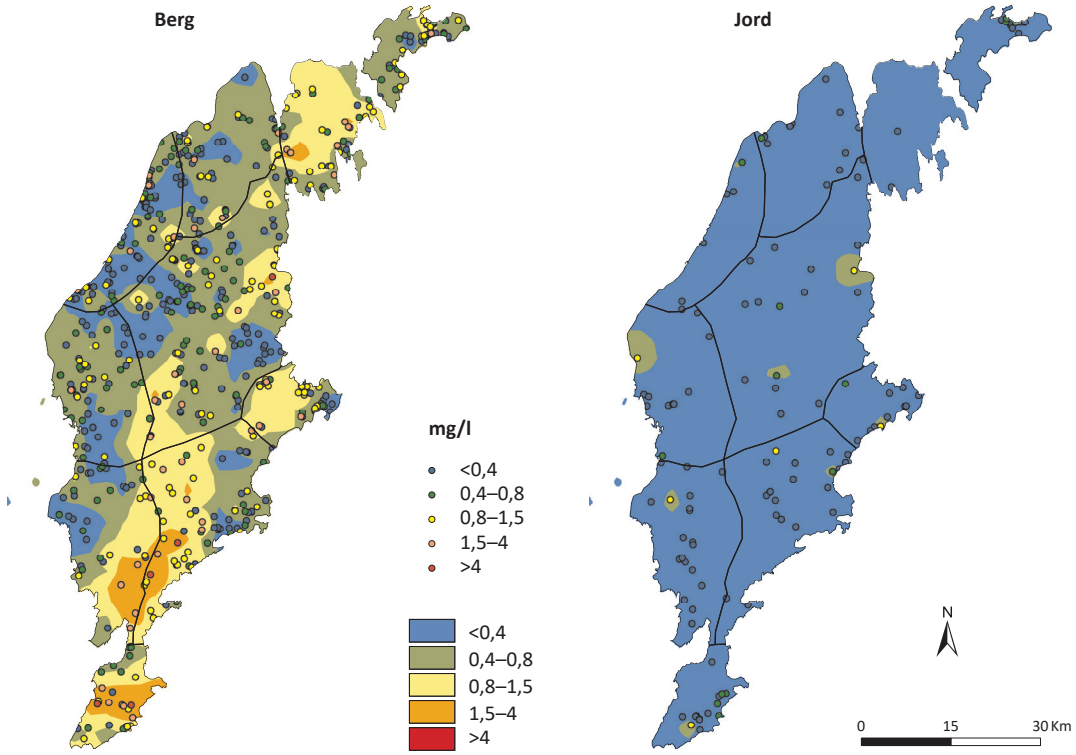
Figur 96. Järn (Fe, mg/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

Mangan



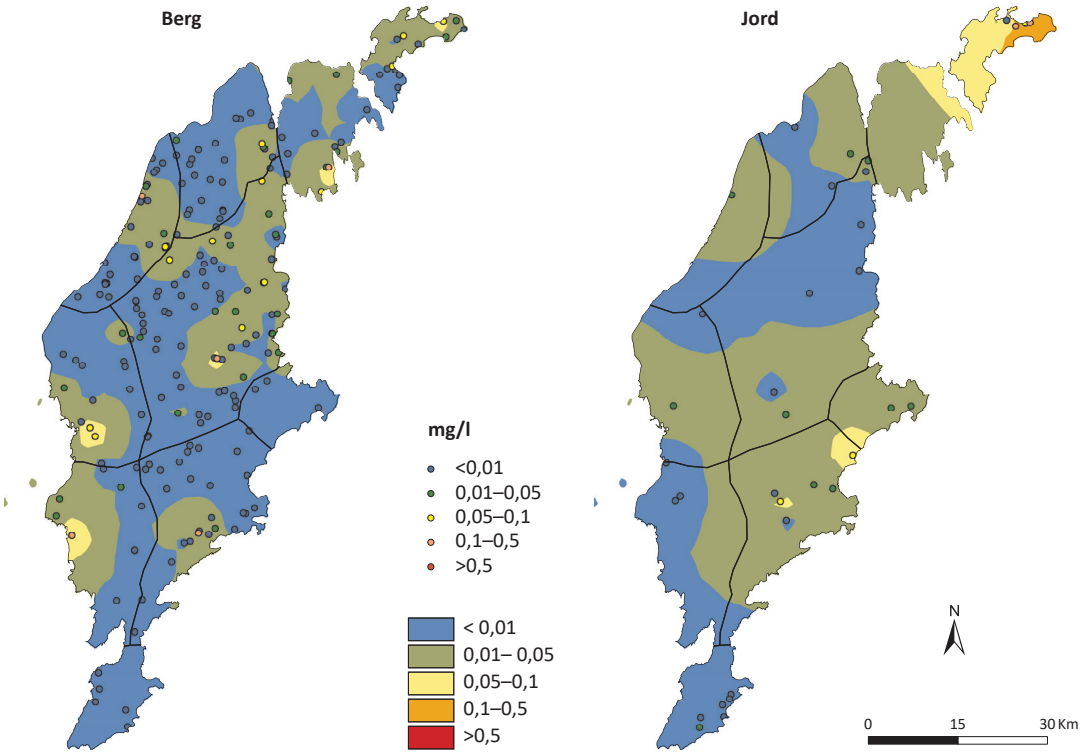
Figur 97. Mangan (Mn, mg/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

Fluorid



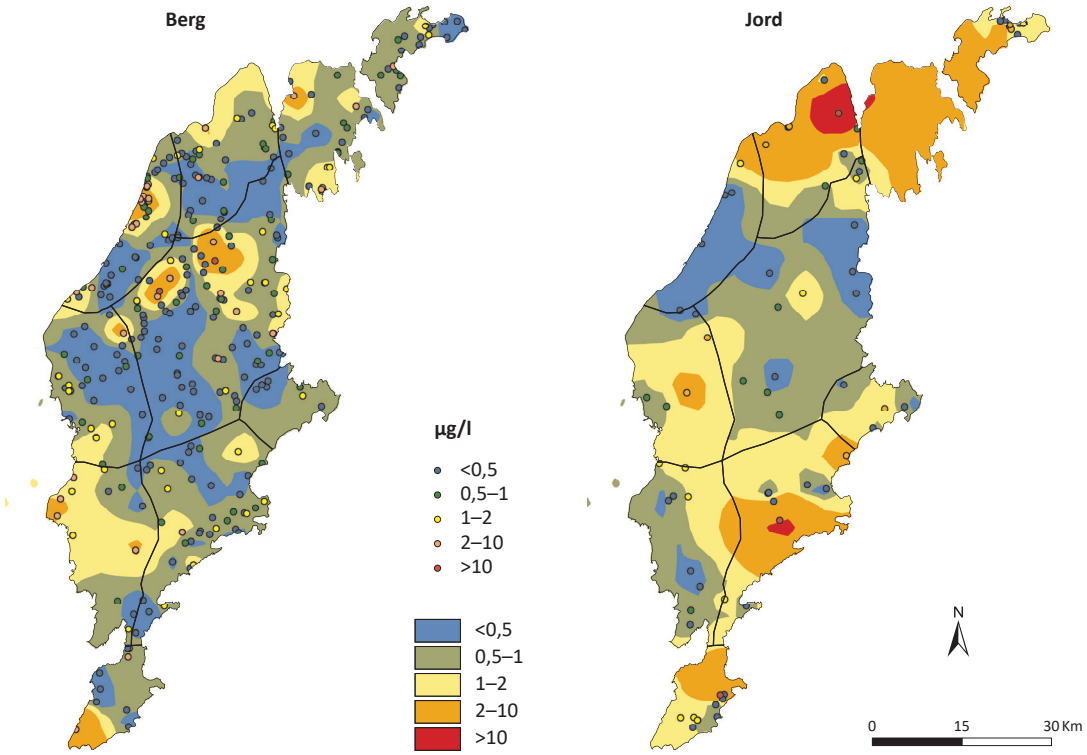
Figur 98. Fluorid (F, mg/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

Aluminium



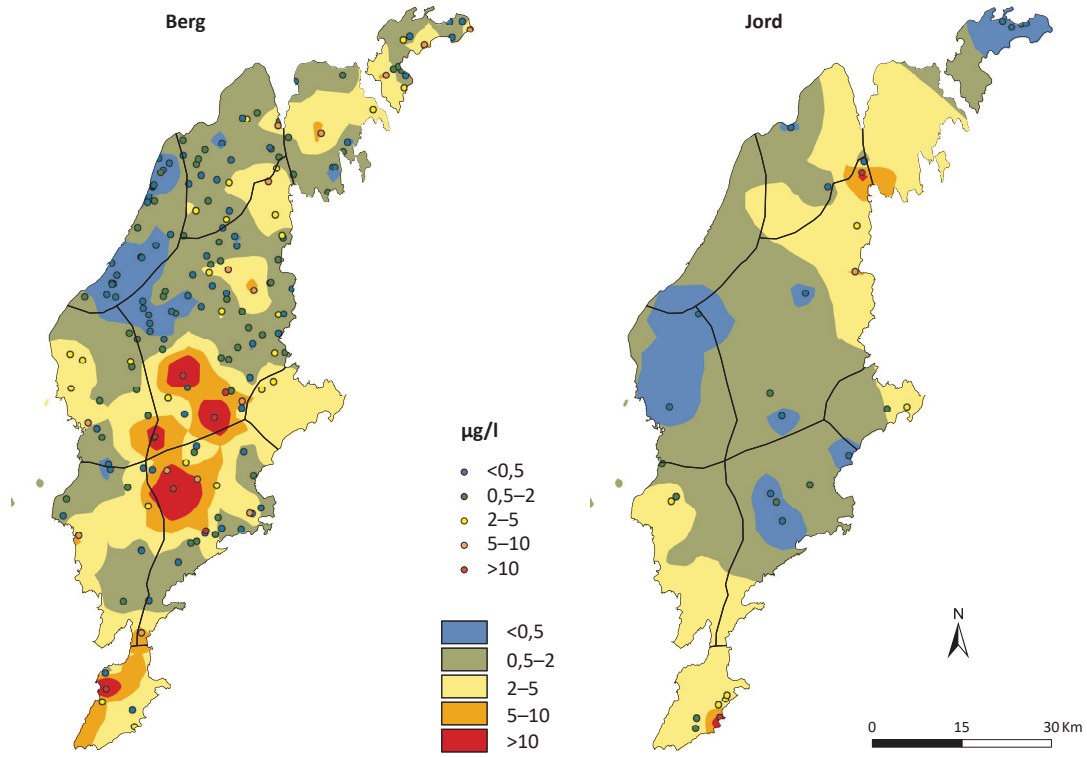
Figur 99. Aluminium (Al, mg/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

Bly



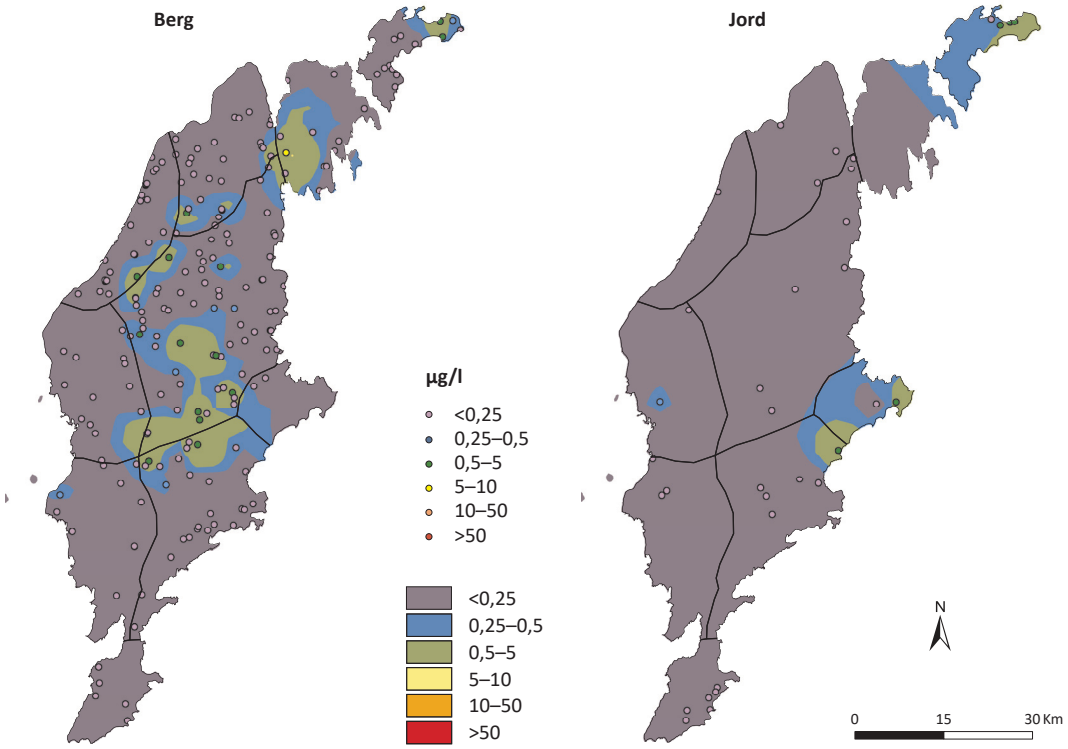
Figur 100. Bly (Pb, µg/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

Selen



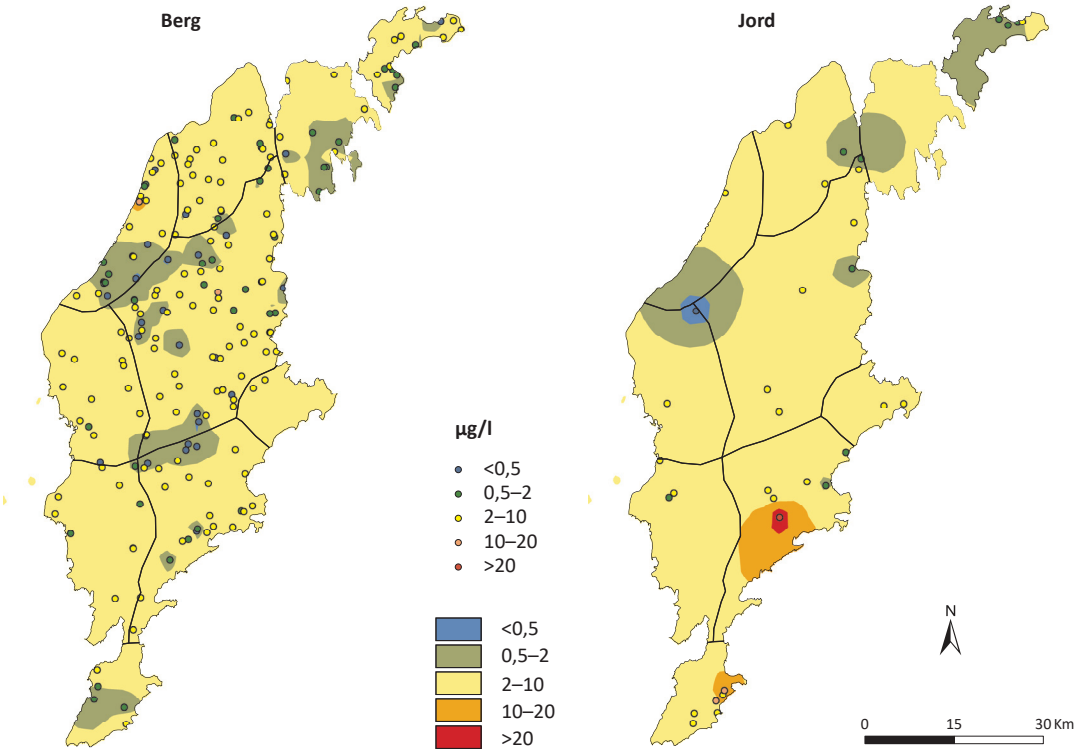
Figur 101. Selen (Se, µg/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

Krom



Figur 102. Krom (Cr, µg/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).

Nickel



Figur 103. Nickel (Ni, µg/l) i grundvatten från brunnar i berg (vänster) och jord (höger).