

Våtmarker och grundvattenbildning

– om möjligheten till ökad kapacitet vid grundvattentäkter på Gotland

Peter Dahlqvist, Magdalena Thorsbrink, Björn Holgersson,
Jakob Nisell, Lena Maxe, Mattias Gustafsson

januari 2017

SGU-rapport 2017:01



SGU

Sveriges geologiska undersökning
Geological Survey of Sweden

Omslagsbild: Bassänginfiltration och infiltration i för ändamålet utförda infiltrationsdiken. Dikena kan designas att endast fungera vid högflödessituationer.
Illustration: Magdalena Thorsbrink.

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
fax: 018-17 92 10
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

Illustrationer: Magdalena Thorsbrink.
Foto: Peter Dahlqvist.
Redaktör: Rebecca Litzell.

INNEHÅLL

Sammanfattning	5
Inledning och syfte	5
Möjliga metoder för ökad grundvattenbildning och grundvattentillgång	6
Våtmarker	6
Dammar	7
Infiltrationsanläggningar	8
Sjöar och kalkbrott som magasin	9
Översilningsängar och meandring av ytvattendrag	10
Kulvertering av dike och reglerad dränering	10
Anläggningar för grundvattenuttag	12
Bakgrundsförutsättningar på Gotland	13
Dikningsföretag och täckdikning på Gotland	14
Grundvattenbildning och kvantitet	15
Grundvatten i jord	17
Grundvatten i berg	17
Grundvattnets kvalitet	17
Våtmarkers påverkan på grundvattenkemin och vattentäkter	18
Tillvägagångssätt och metodval	19
Vattentäkter och Förutsättningar för ökad grundvattentillgång	20
Vattentäkter med förutsättningar för att öka grundvattenbildningen genom våtmarksanläggande eller infiltrationsanläggningar	22
Åminne	23
Eskelhem–Övide	26
Stånga	28
Slite–Filehajdar	31
Tingstäde	34
Lärbro	38
Klinte–Loggarve	39
Vattentäkter där det kan finnas förutsättningar för att öka grundvattenbildningen genom våtmarksanläggande eller infiltrationsanläggningar	42
Alva	42
Burs	43
Färö (Ullahau & Avanäs)	44
Kapellshamn	44
Klinte–Follingbo	45
Langs Hage	48
Martebo	49
Roma	50
Stenkyrka–Licknatte	52
Vattentäkter där det saknas förutsättningar för att öka grundvattenbildningen genom våtmarksanläggande eller infiltrationsanläggningar	53
Furulund	53
Lojsta	53
Skogsholm	53
Tofta	53
Träkumla	54
Västringe	54

Diskussion	54
Referenser	55
Bilaga 1.	56
Grundvattenmodell över vattentäkten i Stånga	56
Modellerade scenarier	56
Modellresultat	57
Diskussion – möjlig fortsättning	57
Bilaga 2.	60
Grundvattenmodell över vattentäkten i Slite–Filehajdar	60
Modellerade scenarier	60
Modellresultat	62
Slutsatser med fokus på infiltrationsmetod	67
Modellering av transient (tidsberoende) förlopp	67
Slutsatser med fokus på akviferens respons	69
Diskussion– möjlig fortsättning	69
Bilaga 3.	71
Förslag på förundersökningar och övervakningsprogram	71
Beskrivning av förutsättningar och kompletterande undersökningar	71
Kontrollerande övervakning	72

SAMMANFATTNING

SGU har på uppdrag av Region Gotland studerat de geologiska och hydrogeologiska förutsättningarna för att öka grundvattenbildningen och därmed öka dricksvattenkapaciteten vid befintliga vattentäkter på Gotland.

SGU anser att det vid, eller i närområdet till, sex vattentäkter: Åminne, Eskelhem–Övide, Stånga, Slite–Filehajdar, Lärbro, Tingstäde samt Klinte–Loggarve finns förutsättningar att öka grundvattenbildningen genom infiltration av ytvatten till grundvattenmagasinen. Vid dessa vattentäkter finns det även tillgängligt ytvatten i tillräcklig mängd samt möjlighet att magasinera vatten under den period på året när ytvattendrag har ett överskott av vatten, dvs. på vinterhalvåret. I rapporten rekommenderar SGU vilka geologiska undersökningar som bör utföras i det fortsatta arbetet med dessa områden.

Vid ytterligare nio vattentäkter: Alva, Burs, Fårö, Kapellshamn, Klinte–Follingbo, Långs Hage, Martebo, Roma samt Stenkyrka–Licknatte, finns det delvis förutsättningar för att öka grundvattenbildningen. Till exempel saknas ytvatten i tillräcklig mängd i närheten eller så är infiltrationsmöjligheterna små. Det kan också vara så att insamlade bakgrundsdata inte är tillräckliga för att göra en säker bedömning men att det mesta ändå pekar på relativt goda förhållanden. Vid sju vattentäkter anser vi att det saknas goda förutsättningar för att på konstgjort sätt öka grundvattenbildningen: Furulund, Lojsta, Skogsholm, Tofta, Träkumla, Västringe.

Resultaten visar att det vid ett antal vattentäkter finns möjligheter att öka grundvattenbildningen genom främst infiltrationsanläggningar. Dock kräver dessa att man har magasinerat vatten varför det även behövs kvarhållande funktioner i form av våtmarker eller andra magasin. I flera fall är nya brunnslägen en förutsättning för att förslagen ska fungera optimalt. Rapporten ska ses som ett underlag för fortsatta studier. Vid samtliga utpekade vattentäkter krävs ytterligare undersökningar för att säkerställa att föreslagna åtgärder är lämpliga.

De områden som pekats ut som gynnsamma, rent geologiskt eller hydrologiskt, kan vara direkt olämpliga av en annan orsak. Endast i ett fåtal fall har SGU tagit hänsyn till motstående intressen vilket gör att resultaten som rapporteras här, och det beslutsunderlag som det kan sägas utgöra, ska användas med förnuft och efter samråd med företrädare för möjliga motstående intressen.

SGU kommer under 2017 och 2018 att skapa en geologisk 3D-modell över Gotland, med möjlighet att inkludera hydrogeologiska och hydrologiska parametrar. När detta är klart finns tillräckligt med indata och goda möjligheter att göra en regional, GIS-baserad undersökning av förutsättningarna för att öka grundvattenbildningen för hela Gotland, inte bara kring vattentäkterna.

INLEDNING OCH SYFTE

På Gotland förekommer sommartid perioder med vattenbrist vilket bland annat får till följd att brunnar sinar samt att kommunen behöver införa bevattningsförbud och tvingas sänka trycket i vattenledningar som besparingsåtgärder. I september 2015 tog Region Gotland kontakt med SGU. Enligt beslut av Tekniska Nämnden ska *”Tekniska Förvaltningen utreda möjligheter att säkra vattentillgång vid Regionens vattentäkter genom anläggande av våtmarker och återkomma med rapportering till nämnden i november”* (2015-08-26). Bakgrunden till beslutet är att man vid Ardre och Gammelgarn genom lokala projekt (Vattenvård Aquabrava) fått grundvattennivåerna att stiga och enskilda brunnarnas kapacitet att öka genom att anlägga våtmarker i tillrinningsområdet på Östergarnslandet. Tekniska Nämnden tog den 15 december 2015 beslut om att inleda samarbete med SGU för att genomföra projekt (TN§181); Region Gotland vill att SGU utreder om man kan öka de kommunala vattentäkternas vattenförsörjning genom att anlägga våtmarker vid Regionens vattentäkter. Den totala kommunala dricksvattenproduktionen på Gotland ligger på ca 4 000 000 m³/år. Det verkliga vattenbehovet är dock större, därför inför kommunen varje år bevattningsförbud, under 2016 redan fr.o.m. 1 april. Behovet är idag snarare

totalt ca 4 500 000–5 000 000 m³/år. I nuläget är grundvattenuttagen fördelade på 22 kommunala grundvattentäkter. Enligt Regionen behövs inom en snar framtid ett tillskott på ca 1 000 000–1 500 000 m³ årligen, speciellt under månaderna maj till oktober (dvs. ca 6 månader). Befolkningsmängd, fritidsbebyggelse, befintliga vattentäkter och VA-infrastruktur är inte heller jämt fördelade över ön.

Några av vattentäktarna har bristande råvattenkvalitet (t.ex. nitrat, bor, bekämpningsmedel) och regionen tycker i dessa fall att det är tveksamt om vattnet bör användas i dricksvattensyfte. En tillhörande frågeställning är om och i så fall hur vattentäkternas kvalitativa status kan komma att ändras genom anläggande av våtmarker inom grundvattenbildningsområdet. Frågeställningen är relevant för vattentäkter som i dagsläget representerar både dålig och bra råvattenkvalitet.

SGUs uppgift är att identifiera de geologiska och hydrogeologiska förutsättningarna för anläggande av våtmarker, framförallt i närheten av befintliga vattentäkter, med syfte att öka grundvattenbildningen och därmed stärka Region Gotlands dricksvattenkapacitet. SGU tar inte upp motstående intressen och endast i undantagsfall vägs eventuella bieffekter av våtmarkerna in.

Denna rapport innebär projektets avslut och innehåller beslutsunderlag för Region Gotland. I rapporten redovisas möjligheterna att öka kvantiteten vid regionens grundvattentäkter samt identifierade områden med goda förutsättningar för anläggande av våtmarker och infiltrationsanläggningar med syfte att stärka kvantiteten i angränsande grundvattenmagasin.

Vi presenterar även en metod för hur man tar identifierar lokala förutsättningar för anläggande av våtmarker med syfte att öka grundvattenbildningen kopplat till grundvattentäkter. Till det följer förslag på förundersökningar inför och övervakningsprogram för utvärdering av eventuella våtmarksgenomföranden.

MÖJLIGA METODER FÖR ÖKAD GRUNDVATTENBILDNING OCH GRUNDVATTENTILLGÅNG

Som en arbetshypotes har vi tänkt oss en grundvattentäkt i berg, där jordarterna i närområdet består av en kombination av täta (t.ex. lera, silt, morän, torv) och genomsläppliga jordar (t.ex. sand och grus). Under projektets gång har vi diskuterat olika scenarier när det gäller att öka grundvattenbildningen.

- Våtmarker
- Dammar
- Infiltrationsanläggningar
- Sjöar och kalkbrott som magasin
- Översilningsängar och meandring av ytvattendrag
- Kulvertering av diken och reglerad dränering.

Våtmarker

Förutsättningarna för att skapa och återskapa våtmarker styrs av de geologiska förutsättningarna. Våtmarker eller dammar kan t.ex. placeras i befintliga utdikade våtmarker, idag ofta representerade av torvområden (fig. 1), som underlagras av tätande jordlager i form av t.ex. lera som helst är över 5 m. I de fall det också finns områden med goda infiltrationsegenskaper som ansluter till våtmarken, såsom sand- och grusavlagringar med en mäktighet på över 5 m, stärks förutsättningarna för grundvattenbildning och förmågan att magasinera vattnet ytterligare.

Genom att magasinera vatten i våtmarkerna under perioder med ett överskott på vatten (oktober–mars) och vid nederbörd, skapas förutsättningar för att stödja vattentäktarna genom infiltration under perioder då vattenbehovet är som störst, vanligen under månaderna maj till oktober.

En möjlighet är att i grundvattentäkternas grundvattenbildningsområde skapa lagringsmög-



Figur 1. Återskapad våtmark i ett utdikad torvområde. I själva torvområdet ökar grundvattenbildningen endast marginellt om ens något. Faktum att man uppehåller vattnet i landskapet och därmed får ett varaktigare och jämnare flöde under året skapar dock förutsättningar för en ökad grundvattenbildning på andra platser. Kontinuerligt läckage och grundvattenbildning kan ske i de tidigare strandzonerna där det finns infiltrationsbenägna jordar (t.ex. sand).

ligheter i form av våtmarker som kontinuerligt läcker vatten till grundvattenmagasinen i jord eller berg (fig. 1). Detta alternativ skapar en naturlig våtmarksmiljö med mindre fluktuationer men kräver något mer av grundvattenmagasinet storlek och kan vara svårt att få till rent praktiskt.

I vissa fall kan det vara tvunget att ha överföringsledningar från lämpliga platser för våtmarker eller dammar till områden med gynnsam geologi för infiltration. Man kan på detta sätt styra grundvattenbildningen och relativt snabbt få en stor mängd grundvatten till sina vattentäcker. Detta alternativ ställer krav på ett reglerat system som styr våtmarken. Årstidsvariationerna i våtmarken kan bli relativt stora då skillnaden mellan en full och en tom våtmark eller damm kan bli stor. Det krävs också att infiltrationen är tillräckligt stor.

Dammar

På Gotland finns ett antal grävda dammar, ofta handlar det om bevattningsdammar. De är utförda genom att man grävt sig ner i marken och lagt delar av den uppgrävda jorden som vallar för att få ytterligare magasineringkapacitet. Påfyllning av dammarna sker genom att man leder eller pumpar vatten från närliggande diken till dammarna (fig. 2). Det finns ett antal dammar på Gotland som är grävda i sandiga områden och där vattenytan är den samma som grundvattenytan, d.v.s. dammen är i princip helt grundvattenförsörjd. Genom att skapa en vattenspegel ökar dock avdunstningen vilket gör att det ur magasineringssyfte finns få fördelar med att göra grundvattenförsedda dammar. Dock är tillgängligheten till vattnet större vilket kan vara en väl så viktig del.

Genom att utnyttja topografin kan man genom att dämna ytvattenflöde men även grundvattenflöde skapa dammar i t.ex. dalgångar. En form av uppdämda dammar är rena grundvattendammar, där man dämmer grundvattenflödet i t.ex. en dalgång. Genom att hindra grundvattnets strömning skapas en underjordisk damm, eller om man så vill ett grundvatten-



Figur 2. Bevattningsdammar som tar tillvara på högvattenflöden från närliggande diken och vattendrag, ett bra sätt att ta tillvara på vatten som annars runnit ut i havet, blir allt vanligare i det gotländska landskapet. Det är troligt att detta kan ha en svagt positiv effekt på grundvattenbildningen på Gotland.

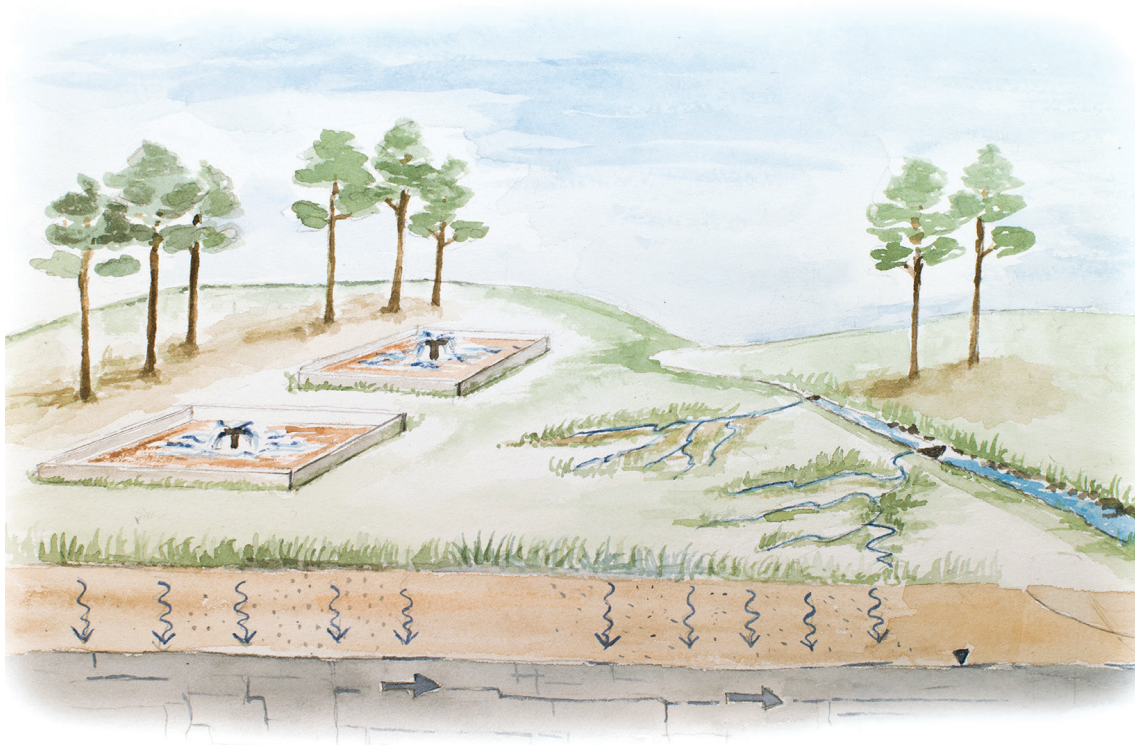
magasin. Metoden är relativt kostsam men är å andra sidan i princip osynlig ovan mark och förändrar därmed inte landskapsbilden. För tillfället finns inga grundvattendammar på Gotland vad SGU vet. Dock bör man utreda var sådana skulle vara möjliga att skapa, en möjlig väg att gå är den metod som publicerats i *Locating suitable sites for the construction of subsurface dams using GIS* (Jamali m.fl. 2013).

Infiltrationsanläggningar

Infiltration av vatten är ett vanligt sätt att öka grundvattentillgången. Cirka 25 % av allt dricksvatten i Sverige består av konstgjort grundvatten där man infiltrerar ytvatten som man sedan tar upp ur brunnar. Det vanligaste sättet är att infiltrera vatten i bassänger (fig. 3), något som sker i både stor (t.ex. Vombverket i Skåne och Fjärås Bräcka i Kungsbacka) som liten (t.ex. Sandbäckshult utanför Mönsterås) skala. Ofta har man en infiltrationskapacitet på 1000 mm per dygn i dessa områden och en uppehållstid på mellan tre veckor och ett år innan man tar upp vattnet ifrån brunnarna. På Gotland finns det få områden med mäktiga infiltrationsbenägna jordar. I de flesta fall är det möjligt att det handlar mer om dagar eller kanske till och med timmar i uppehållstid på Gotland.

Man kan även avleda vatten från bäckar och diken till områden med fördelaktig infiltrationskapacitet och på så sätt öka kapaciteten på grundvattenbildningen (fig. 3). De skapade infiltrationsdiken är lämpligen anlagda så att de används vid högflöden då vattenföringen överstiger en viss nivå.

En annan möjlighet är att sprinkla vatten från en ledning som antingen ligger på eller är nedgrävd i marken. Om man gräver ner ledningen på frostfritt djup försvinner de problem med isbildning som kan uppstå vintertid.



Figur 3. Bassänginfiltration och infiltration i för ändamålet utförda infiltrationsdiken. Dikena kan designas att endast fungera vid högflödessituationer.

Sjöar och kalkbrott som magasin

De sjöar som idag finns på Gotland är oftast grunda, med ett medeldjup på cirka två meter. Tingstäde träsk och Bäste träsk används idag som ytvattentäkter och Hau träsk har använts tidigare. Från Tingsstäde träsk finns ett tillstånd att ta ytvatten i obegränsad mängd så länge sjöytan inte understiger en viss miniminivå, och man släpper minst 10 l/s till Ihreån. Årsmedel ligger på strax under en miljon kubikmeter. Bästeträsk har tidigare endast använts mycket sparsamt, men under 2016 tog man ut 124 648 m³ till och med oktober månad. I ett område vid Lojsta och Erelhem på centrala Gotland ligger ett antal sjöar som skiljer ut sig markant på Gotland. Dessa sjöar är som djupast 15,4 m och har en sammanlagd volym på nästan två miljoner kubikmeter (SMHI 2009). Sjöarna och tidigare träsk- och våtmarker i närheten är påverkade av dikningsföretag och några av sjöarna har tillsammans utgjort en större sjö i historisk tid.

På Gotland har det förekommit kalkbrytning under flera århundraden. De senaste decenniernas verksamhet har dock varit betydligt mer omfattande och ett flertal större kalkbrott, framförallt på norra Gotland, har nu gjort att det finns ett antal vattenfyllda magasin med stora volymer. I de flesta fall är kalkbrotten mer än 5 m djupa och några har ett djup på tiotals meter. Detta gör att man ofta har en bättre kvalitet och lämpligare temperatur än om man jämför med de gotländska träsken.

Det har länge pågått en diskussion på Gotland kring de ytvattenmagasin som nedlagda kalkbrott i många fall utgör och huruvida de kan och bör användas för kommunal dricksvattenförsörjning. Bland annat har det varit problem med höga sulfathalter.

Det vatten som finns i sjöar och större nedlagda bergtäkter kan antingen användas för konstgjord infiltration i närheten av en grundvattentäkt (jämför fig. 3) eller tas upp via brunnar i

närheten av reservoaren om kontakten mellan reservoaren och grundvattenmagasinet är god (fig. 1). Man kan även ta vatten direkt från reservoaren men då får man inte grundvattnets goda egenskaper i form av lägre temperatur och möjlighet till självrening.

Översilningsängar och meandring av ytvattendrag

Översilningsängar är oftast lokaliserade i anslutning till ytvatten och består av lågt liggande områden som tillåts översvämmas från det ännu lägre liggande ytvattnet vid höga flöden (fig. 4) eller av diken och ytvattendrag som tillåts mynna ut uppströms översilningsängarna istället för att dras ända fram till ytvattnet ifråga (fig. 4). Översilningsängar kan kombineras med meandring av vattendrag.

Att återmeandra rätade bäckar eller att meandra diken är ett sätt att sakta ned avrinningshastigheten och återskapa det naturliga förloppet för rinnande vatten. Vad man bl.a. får är en förlängd uppehållstid och ökad magasinering vilket därmed, i rätt jordarter, skapar förutsättningar för en grundvattenbildning i anslutning till dessa ytvattendrag (fig. 5). Områden med siltrika jordarter kan vara olämpliga för återmeandring då erosionen är som störst i denna jordart. Dock kan man med t.ex. plantering av växtlighet och förstärkning i utsatta lägen minska dessa risker.

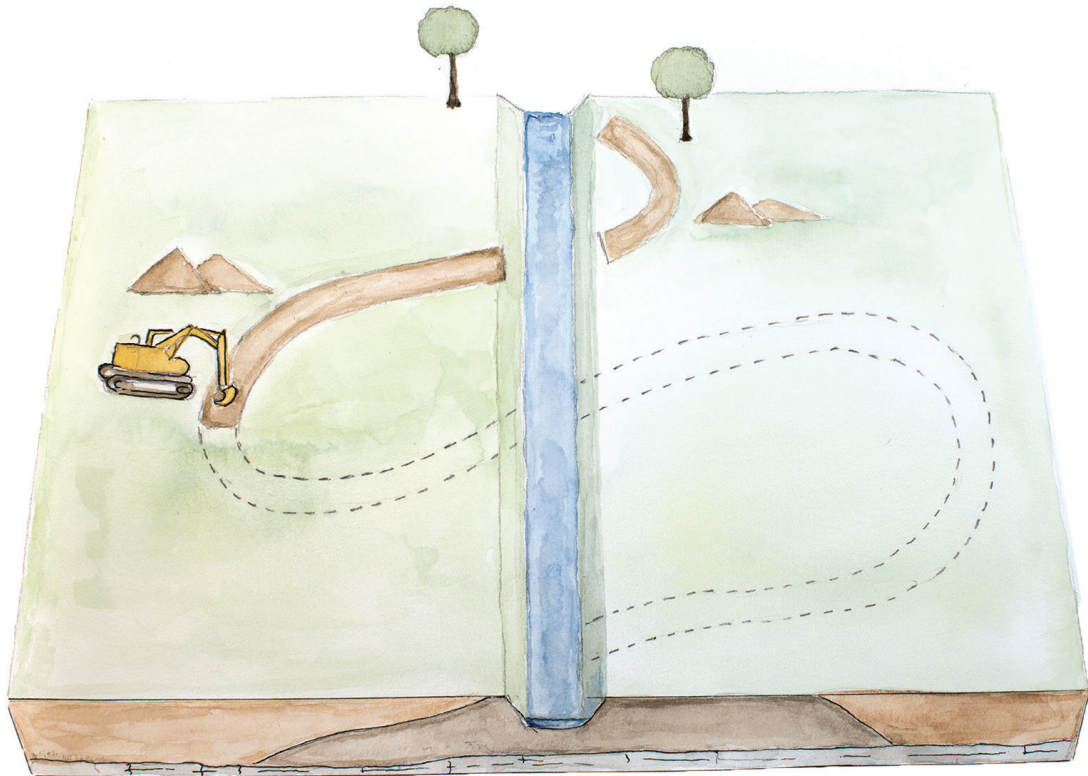
Kulvertering av dike och reglerad dränering

Genom att kulvertera diken i områden med t.ex. svallsand kan man minska onödig grundvattnensänkning i områden som inte behöver avvattningsanläggningar (fig. 6). På detta sätt kan man upprätthålla en högre grundvattennivå och behålla grundvattnet i områden med svallsandsavlagringar. Kulvertering av diken är dock något som man numera arbetar med att komma ifrån då öppna småvatten är bättre för bl.a. biologisk mångfald.

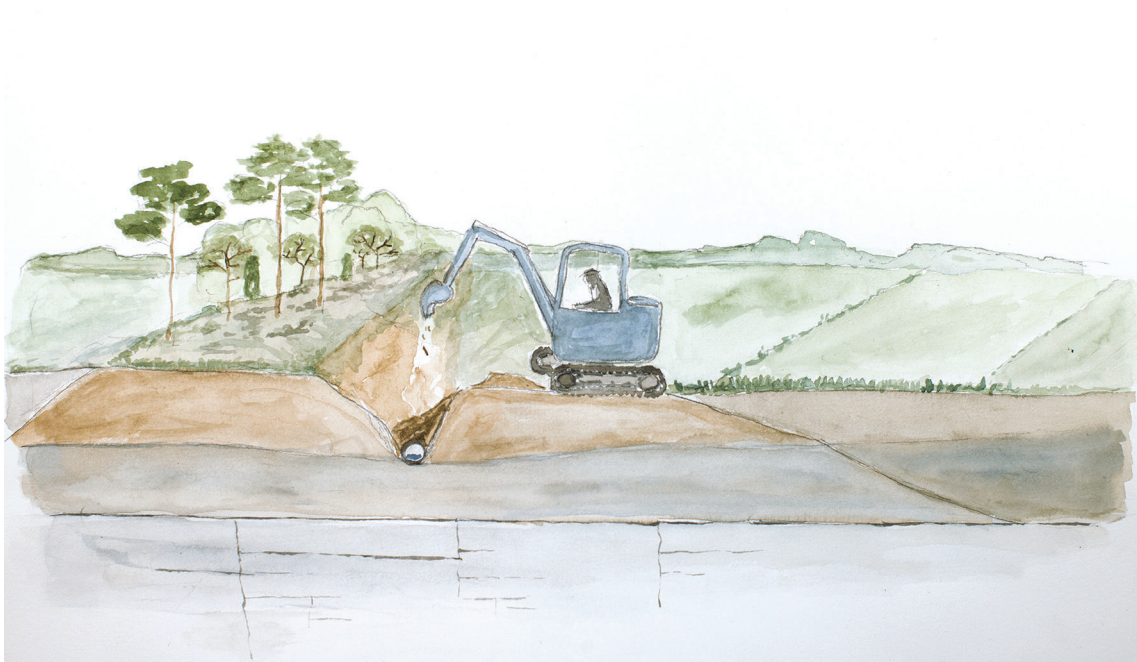
Ett dräneringssystem som kombinerar dränering och bevattning är s.k. reglerad dränering där man kan reglera nivåerna på dräneringsbrunnarna, dämna dräneringsutloppet och även



Figur 4. Översilningsäng längs ett vattendrag. Lägg märke till det öppna dike som kommer från torvmarken till vänster i bild. Tidigare gick diket direkt till vattendraget i ledning men genom att låta diket rinna fritt de sista tiotals metrarna ges möjlighet till infiltration.



Figur 5. Meandring av diken eller återmeandring av rätade ytvattendrag. Denna metod har flera fördelar, bland annat genom att man får en större area och därmed en ökad infiltration. Infiltrationen är olika stor längs vattendraget beroende på jordarternas beskaffenhet.



Figur 6. Kulvertering av dike. Grundvattenytan i dikets närområde höjs efter igenläggningen vilket leder till höjda grundvattennivåer och minskad lokal grundvattenbortledning. Dock bibehålls dikets avvattnande effekt uppströms i de områden som diket avser avvattna.



Figur 7. Dämt dike i Snodderåns dikningsföretag vid Mästermyr. Dämningen fungerar även som erosionskydd då trycket från vattnet hindrar ras från dikessidorna. Foto: Peter Dahlqvist.

själva dikena (fig. 7). Man kan med andra ord reglera grundvattennivån och hålla kvar grundvattnet tills det behövs. Man kan fylla på grundvattenmagasinet med ytvatten, vid t.ex. högfloden, men även tappa ur vatten när man t.ex. behöver köra på marken. Metoden är viktig för lantbruket då det skapar möjlighet att ge växtligheten vatten under en längre period. Metoden fungerar i flacka områden med relativt genomsläppliga jordarter i ytan, underlagrade av relativt täta jordarter. På Gotland finns ett antal områden som har någon form av reglerad dränering och förutsättningarna för detta bedöms som goda i ytterligare områden. Ett flertal av de större dikena med reglerad dränering har tillståndsgivna regleringar kopplade till dikningsföretagen (fig. 7).

Anläggningar för grundvattenuttag

För att säkerställa att man kan tillgodogöra sig så mycket av det infiltrerade vattnet som möjligt, samt för att åstadkomma så lite påverkan som möjligt, krävs det ofta ett brunnsgalleri, speciellt när det handlar om vattentäkter i lösa jordlager. Det betyder att man anlägger ett flertal brunnar tvärs flödesriktningen (fig. 8) och fångar upp grundvattenströmningen. Man kan i vissa fall även påverka grundvattenflödets riktning och hastighet genom pumpningen vilket kan vara både positivt och negativt. Kan man styra grundvattenflödet så att man får en lagom uppehållstid är det bra. Är uppehållstiden för kort får man reglera pumpningsintensiteten eller anlägga brunnar på annan plats.



Figur 8. De fem brunnarna (ett brunnsgalleri) i grundvattnets flödesriktning utnyttjar både grundvattenmagasinet i jord och berg. Genom att använda sig av flera brunnar får man en större kapacitet, möjlighet att styra uttagen samt en större möjlighet att tillgodogöra sig en stor del av det infiltrerade grundvattnet.

BAKGRUNDSFÖRUTSÄTTNINGAR PÅ GOTLAND

I detta kapitel pekar vi på de bakgrundsfaktorer som styr förutsättningarna för anläggande av våtmarker och möjligheterna att stärka kvantiteten vid Region Gotlands grundvattentäkter,

Den mängd nederbörd (500–600 mm i årsmedel, SMHI) som faller på Gotland årligen är mer än tillräcklig för att tillgodose all (dricks)vattenförsörjning på ön. Dock begränsas uttagsmöjligheterna av bristande lagringskapacitet i grundvattenmagasinen vid samtliga av Region Gotlands grundvattentäkter vilket skapar problem, framförallt sommartid, då befolkningsökningen gör att behovet ökar samtidigt som grundvattenbildningen i princip är obefintlig. För att öka kapaciteten hos grundvattentäkterna krävs en ökad grundvattenbildning inför sommarhalvåret, vilket kräver ökade lagringsmöjligheter. Lagringskapaciteten i grundvattenmagasinen vid grundvattentäkterna är begränsad eftersom grundvattentäkterna utnyttjar grundvattenmagasin i berg eller i jord med begränsade jordmäktigheter. Därför behövs andra alternativ, t.ex. lagring i andra grundvattenmagasin i jord eller lagring i sjöar, våtmarker eller andra reservoarer som t.ex. nedlagda vattenfyllda kalkbrott. Beroende på lagringsmöjligheter och den lokala geologin kan man då använda det lagrade vattnet när behoven är som störst.

Grundvattenbildning och magasineringsförmåga i jord styrs av jordlagrens sammansättning och mäktighet. Jordlagren kan under rätt förutsättningar ha en förmåga att hålla kvar vatten i området tills det behövs. Förutom att agera grundvattenmagasin sker även en naturlig rening när vattnet transporteras genom jordlagren. Uppehållstiden är viktig för en god kvalitet.

Sjöar, anlagda våtmarker, utdikade våtmarker och andra naturligt fuktiga områden har ofta en relativt tät botten som förhindrar en transport ner till grundvattenmagasin i jord eller berg.

På Gotland består de tätande skikten av sjösediment, lera, morän, organogena jordarter (torv och gyttja) eller av tät berg i form av lerrik mörgel. Genom studier av till- och frånflöde av grundvatten till sjöar kan man få stöd vid bedömningen av möjliga uttagpunkter i anslutning till sjöar. Anledningen till det är att man då kan hitta områden med potentiella förutsättningar för inducering, dvs en ökad grundvattenbildning till följd av uttag ur en brunn.

Nedlagda bergtäkter som numera är vattenfyllda står ibland i god kontakt med vattenförande sprickor i berggrunden. Att placera brunnar i anslutning till ett stenbrott kan därför medföra att vattnet i det nedlagda, vattenfyllda stenbrottet bidrar till en förstärkt grundvattentillgång i brunnarna. Jämfört med att ta vattnet ut brottet har vattnet i brunnarna i regel en lägre temperatur.

Vid vattentäkter där man använder sig av konstgjord infiltration eller inducering av ytvatten är det en förutsättning att man har ett relativt genomsläppligt material, t.ex. sand och grus. I infiltrationsområden vill man oftast ha en omättad zon på minst 5 m för att få en god naturlig rening. Den mättade zonen får gärna vara så mäktig som möjligt då det skapar ett större magasin och förlänger uppehållstiden. Om man har begränsade mäktigheter på jordlagren kan uttag ur bergborrade brunnar ge en ökad uppehållstid. Samspelet mellan infiltration i jord och uttag ur bergmagasin är något som man bör se över på flera ställen på Gotland.

Topografin är en annan viktig parameter för hur grund- och ytvatten bildas och transporteras. Generellt kan man säga att ett område med brant lutning på marken har en sämre grundvattenbildning än om det varit flackt. Den övervägande delen av Gotland har dock små skillnader i topografi och endast svag kupering vilket gör att topografins påverkan i stort inte har så stor betydelse på grundvattenbildningen. I områden med brant topografi är, precis som för ytavrinningen, grundvattenavrinningen högre.

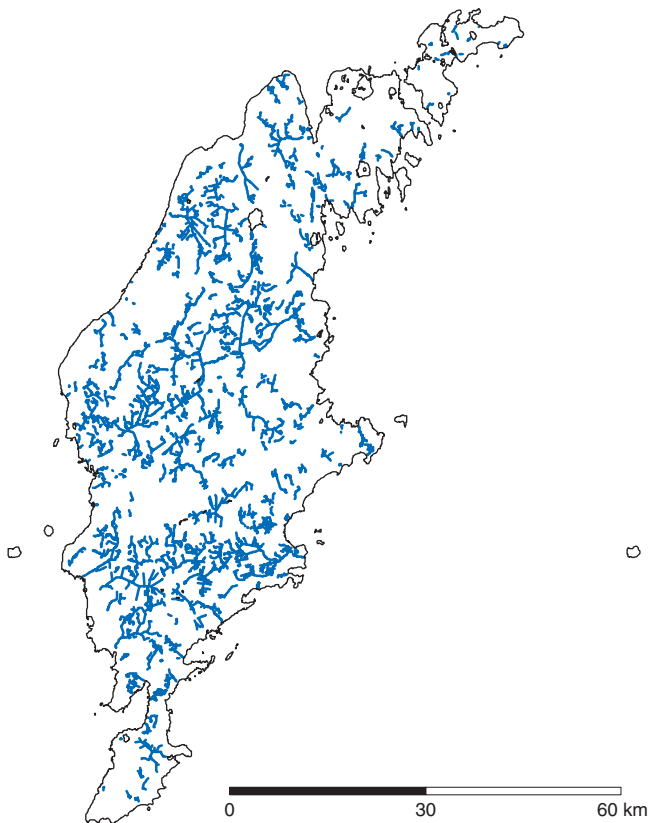
Närhet till ytvatten av tillräcklig storlek är av stor vikt om det ska bli ekonomiskt fördelaktigt med anläggningar som ökar grundvattenbildningen. På Gotland finns det ett antal sjöar och vattendrag som är intressanta för ändamålet men som är starkt påverkade av dikning och sänkning.

De geologiska förutsättningarna skiljer sig åt på Gotland och därmed även mellan Region Gotlands vattentäkter varför även lösningarna behöver bli lokalt anpassade. Man kan förutsätta att råvattenkvaliteten kommer påverkas av åtgärderna. Påverkan kommer till stor del bero på valet av våtmarksutförande och lokala faktorer. Då de flesta vattentäkter på Gotland redan har ett stort antal reningssteg kan de flesta kvalitativa förändringar vägas upp av ökad kvantitet.

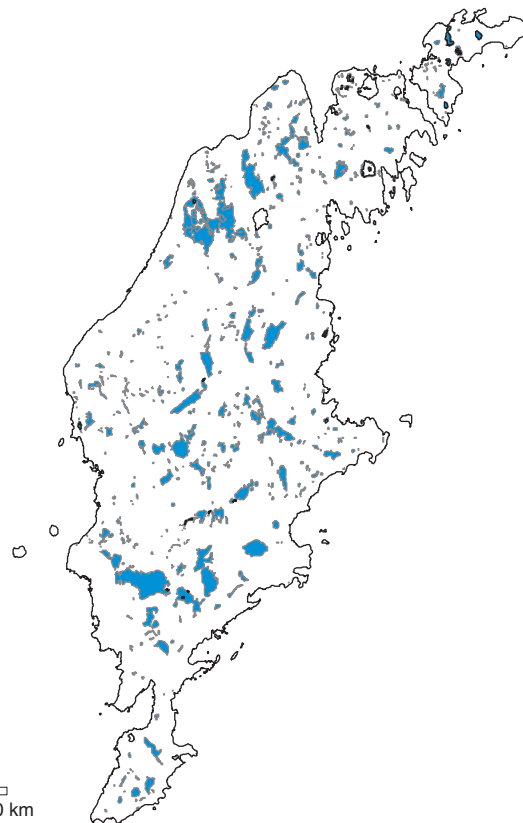
Dikningsföretag och täckdikning på Gotland

Dikningsföretag är en sammanfattande term för en samfällighet vars syfte är att vinna ny mark (oftast odlingsmark) genom att förbättra markavvattningen och vattenavledningen. Dikningsföretagen är tillståndsgivna och för varje företag finns en karta med bl.a. dikenas läge i x–y–z led samt det område man vann genom avvattningsåtgärden, s.k. båtnadsområdet. På Gotland råder det idag markavvattningsförbud vilket betyder att inga nya markavvattningsföretag får anläggas. På Gotland finns det ett stort antal dikningsföretag som vittnar om en utdikning och sjösänkingshistoria tillbaka till 1800-talet (fig. 9). Länsstyrelsen på Gotland har även sammanställt en skattläggningskarta över vilken sorts mark och vegetation som fanns på 1700-talet (fig. 10), där man tydligt kan se vilka stora arealer med våtmarker som fanns på 1700-talet jämfört med nu.

Täckdikning är en metod där man leder bort vatten genom nedgrävda ledningar, ofta bestående av en stamledning med flera tillhörande grenledningar. Täckdikning av jordbruksmark är tillåten enligt lag såvida inga allmänna eller enskilda intressen skadas och den maximala diametern på ledningarna är 300 mm. Utan täckdikning är det i princip omöjligt att odla på vissa marker. Den totala infiltrationsförmågan ökar över en täckdikad mark, vilket är bra för att ytav-



Figur 9. Blå streck visar tillståndsgivna dikningsföretag på Gotland. Underlag: Länsstyrelsen Gotland.



Figur 10. Uppskattad areal myrmark på 1700-talet. Underlag, skatteläggingskarta från Länsstyrelsen Gotland. I stort sett samtliga områden är påverkade av dikning då de används som odlingsmark.

rinningen minskar, men vattentransporten från marken är också snabb vilket gör att den totala grundvattenbildningen minskar i områden med täckdikning. Grundvattennivåerna är därmed generellt lägre i täckdikade arealer.

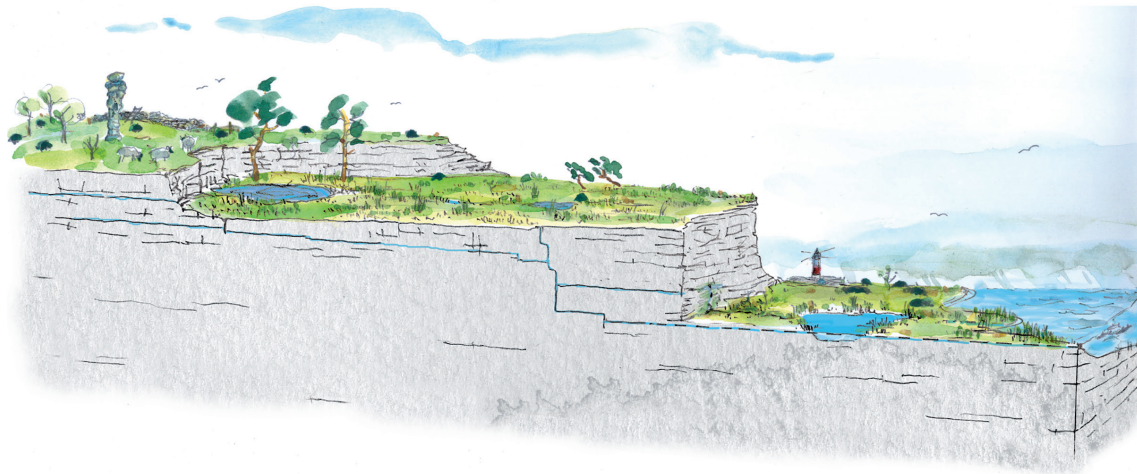
Grundvattenbildning och kvantitet

Grundvattnets transport i de gotländska jord- och bergarterna är till stor del styrd av den mycket heterogena geologin, men beror också på topografin. Såväl strömning som förekomsten av grundvatten kan variera mycket inom ett litet avstånd, både vertikalt och horisontellt (fig. 11).

Huvuddelen av grundvattenströmningen sker i jordlagren och i spricksystem i de ytligare delarna av berggrunden. Grundvattnets strömning sker från högre belägna terrängavsnitt mot lägre, till sjöar, våtmarker och vattendrag. Ett flertal utredningar för t.ex. kalkbrott visar att över 95 procent av den infiltrerade nettonebörden omsätts i skiktet 0–5 m under markytan.

På större djup sker grundvattenströmning oftast långsammare vilket beror på att förekomsten av, och storleken på, sprickor och spricksystem är mycket mindre på dessa djup (fig. 11). I vissa områden förekommer karst i berggrunden, något som påverkar hydrogeologin märkbart då karstsprickor och hålrum skapar snabba transportvägar för grundvattnet.

På Gotland är det också vanligt med ytavrinning, vilket betyder en temporär avrinning på markytan kopplad till perioder med stor nederbörd i form av regn. I områden där detta sker är



Figur 11. Grundvattentransport på Gotland. Illustration: Anna Johansson, ArtAnna.

berggrunden så pass tät att marken inte hinner ta emot vattnet vilket skapar tillfälliga vattenflöden på bergets överyta.

En stor del av det vatten som idag rinner i de gotländska vattendragen har en gång varit grundvatten. Dränering av våtmarker och sjöar, framförallt med syfte att få fram jordbruksmark, har sedan 1800-talet bidragit till att öka mängden vatten som årligen transporteras bort via vattendragen till Östersjön. Grundvattenbildningen i den direkta anslutningen till en sjö eller våtmark är i många fall väldigt liten på grund av att det ofta är ett tätt lager med gyttja eller liknande som utgör bottensediment. Att återskapa en våtmark t.ex. genom dämning eller igenläggning av diken kommer därmed inte öka grundvattenbildningen i själva våtmarksområdet särskilt mycket. Det man framförallt vinner med våtmarksbyggande är en lagringskapacitet. Det vatten som lagras kan under en längre period mata vattendrag så att flödet blir mer naturligt och kontinuerligt över året. En långsammare vattentransport som dessutom är utdragen över året skapar bättre förutsättningar för grundvattenbildning än de snabba flödesförlopp som dessutom ofta är knutna till vinterhalvåret. Beroende på jordarterna, dessas mäktighet och berggrunden som vattendragen rinner genom så varierar förutsättningarna för grundvattenbildning (se diskussionen i avsnitten *Grundvatten i jord* och *Grundvatten i berg*).

Den genomsnittliga grundvattenbildningen till grundvattenmagasin i jord på Gotland är ca 200 mm/år. När det gäller grundvattenbildning till berg är en ofta använd tumregel på Gotland att den utgör ca 10 % av grundvattenbildningen till jordlagren, dvs. ca 20 mm/år. Dock finns det områden där kalkberggrunden genom karstsprickor har en grundvattenbildning till berget på i stort sett hela nettonederbörden samtidigt som det finns områden med främst mangelberggrund där grundvattenbildningen är under 10 mm/år.

Genom att skapa nya eller återskapa gamla våtmarker kommer grundvattennivån att höjas i närområdet. En höjning av grundvattennivån skapar i sig även möjlighet för ett ökat basflöde till vattendrag, vilket kan vara extra viktigt under perioder med lite nederbörd. Detta leder i sin tur till att vatten har möjlighet att infiltrera, t.ex. i sandiga områden och slukhål, senare på sin väg mot havet, under större delar av året.

När det gäller framtidsscenarioer bör man tänka på att vid en framtida uppvärmning vilken kan leda till att havsnivån stiger, kommer detta medföra att kustlinjen flyttas inåt land vid låglänta kuster. Det medför även förändringar i tryck och nivågradienter i kustnära grundvattenmagasin.

Grundvatten i jord

På grund av sitt, genom årtusenden, utsatta läge i havet är förekomsten av mäktiga jordlager mycket sparsam på Gotland. Endast undantagsvis är jorddjupet större än fem meter vilket gör att uttagsmöjligheterna i jordlagren oftast är av marginell betydelse. De få sand- och grusavlagringar som finns är oftast begränsade, men ändå av lokal betydelse för både allmän och enskild vattenförsörjning.

Störst betydelse har i regel grundvattnet i jordlagren som utjämningsmagasin för grundvattenbildningen till berggrunden. Jordtäcket kan genom sin relativt höga porositet, i sand- och grusavlagringar, infiltrera och lagra stora mängder nederbörd som över tiden tillförs grundvattenmagasinen i berggrunden. Ur ett magasineringsperspektiv är det därför av stor vikt att dels bevara områden med mäktiga jordlager och dels skapa förutsättningar för att hålla kvar vattnet och låta det infiltrera i jordlagren, så att det senare kan bilda grundvatten i grundvattenmagasinen i berg. Av den genomsnittliga grundvattenbildningen till jordlagren, ca 200 mm/år, är det troligt att en stor del snabbt blir till ytvatten, dels mot bakgrund av de geologiska förutsättningarna på Gotland och dels beroende på den dikning som förekommer på ön.

Grundvatten i berg

Gotlands berggrund består av sedimentärt berg ned till några hundra meters djup. Här förekommer grundvattnet i såväl sprickor som porer. Beroende på uppbygganden och lagringen i de olika sedimentära bergarterna är förekomsten av sprickor och porer olika, vilket i sin tur skapar varierande hydrauliska egenskaper. En vanlig företeelse på Gotland är att de hydrauliska egenskaperna varierar i olika riktningar (anisotropa förutsättningar), dvs. att grundvattnets förekomst och möjlighet att transporteras, skiljer sig åt i vertikal- och horisontalled (fig. 11).

Förutom variationen i bergarterna så finns det även barriärer och sprickor som ytterligare komplicerar bilden, genom att antingen agera som hinder eller genom att bidra till en snabbare transportväg. Förekomst av karst (stora öppna spricksystem) är ett exempel som har stor betydelse för grundvattenflödet och magasineringsförmågan.

Till följd av de varierande geologiska förhållandena kan gränserna mellan olika grundvattenmagasin vara avskiljande i såväl horisontal- som vertikalled. Dels kan gränserna mellan grundvattenmagasinen vara geologiska, t.ex. kan gränsen utgöras av en mer eller mindre tät geologisk bildning, som sprickfattig mörkelsten eller liknande, dels kan gränsen vara hydrauliskt betingad, d.v.s. grundvattennivåstyrd. Merparten av grundvattenflödet sker utmed enskilda lagringsplan och sprickor, vilket får till följd att stora nivåförändringar kan ske på väldigt kort tid. Ofta sker en stor del av grundvattentransporten i övergångszonen mellan kalksten och lagrad mörkel och mörkelsten.

På grund av relativt liten utbredning i tre dimensioner hos grundvattenmagasinen på Gotland är magasineringsförmågan relativt låg, vilket får till följd att uttagsmöjligheterna begränsas.

Grundvattnets kvalitet

Grundvattnets kvalitet på Gotland är på många håll problematisk ur ett dricksvattenperspektiv. Kalkberggrunden medför att Gotlands grundvatten är hårt eller mycket hårt (dvs. hög halt av kalcium- och magnesiumjoner) och har mycket hög alkalinitet. Grundvatten från berggrunden har också ofta förhöjda halter av salt (klorid- och sulfatjoner) samt bor som sannolikt kommer ifrån berggrunden, troligen främst från mörkeln.

De tunna jordlagren i kombination med en sprickrik berggrund medför en ökad risk för att föroreningar kan nå grundvattnet. I den så kallade 100-undersökningen där Region Gotland vart femte år provtar enskilda brunnar har det påvisats att enskilda brunnar ofta är mikrobiologiskt påverkade. Man noterade också att vattenkvaliteten i många enskilda brunnar snabbt

påverkades av nederbördstillfällena (Region Gotland 2015). Det beror delvis på de geologiska förutsättningarna men kan även bero på dåliga brunnkonstruktioner. De stora nivåvariationerna, främst i berggrunden, i samband med nederbörd respektive torrperioder kan medföra att halterna av olika ämnen varierar över tid beroende på att olika flödesvägar är aktiva eller att redoxberoende ämnen mobiliseras eller fastläggs.

Våtmarkers påverkan på grundvattenkemin och vattentäkter

Våtmarker kan påverka grundvattnets kvalitet på olika sätt. Om man jämför med avrinningen från myrmarker (t.ex. mossar) så är vattnet vid höga grundvattennivåer ofta relativt klart, vattnet avrinner då ytligt och har inte varit i kontakt med torven. Vid låga grundvattennivåer och små flöden är däremot vattnet ofta starkt färgat av humusämnen. Om sulfidmineral finns i marken (sulfidjordar) kan dessa vid (eller efter) låga grundvattennivåer ha oxiderats vilket kan resultera i mycket sura vatten och höga metallhalter (t.ex. nickel). Grundvattnet i en myrmark är ofta syrefritt, reducerande förhållanden råder, vilket innebär att grundvattenavrinning från en myrmarks undre delar kan medföra att ämnen t.ex. järn, mangan och arsenik som har låg redoxpotential sprids. Dels kan metallerna komma från myrmarken men också från den omgivande mark som grundvattnet rör sig igenom. I de övre delarna av en myrmark kan metallhalterna förväntas vara låga om metaller inte tillförs med tillströmmande grundvatten. Undantag kan t.ex. vara olika typer av kärr och rikkärr som får vatten från omgivande fastmark.

Metaller kan läggas fast i våtmarken, eventuellt som sulfider, för att sedan kunna frigöras om förhållandena främst syretillgång (redoxförhållanden) och pH, förändras. I de undre delarna av en våtmark kan halterna av metaller vara högre. Dels för att det kan finnas metaller i sediment som lagrats i en tidigare sjöbotten, dels för att metaller kontinuerligt kan ha tillförts med uppströmmande grundvatten. Metallerna kan ha lagts fast som sulfider eller adsorberats till det organiska torvmaterialet – ett exempel på det senare är uran som ofta anrikats i torv.

Vilka kvalitetsförändringar som uppstår vid skapandet av våtmarker vid en grundvattentäkt är svårt att förutse. En faktor är valet av metod för att skapa våtmarken:

1. Uppdämning av vattnet och översvämning av befintliga marklager

De främsta kvalitetsförändringarna är förmodligen risk för ökad halt av organiska ämnen, metaller och eventuellt lukt- och smakproblem, därtill kan möjligen komma förhöjd halt av nitrat. När en våtmark har dränerats kan sulfider och det organiska materialet ha oxiderats och därvid brutits ned och gått i lösning i dräneringsvattnet. Vi kan förvänta oss ett avrinnande vatten med eventuellt höga metallhalter och lösta organiska ämnen. När ett sådant område återigen sätts under vatten är det svårt att förutse vilka effekter detta kommer få för grundvattenkvaliteten. Mycket kommer bero på i vilken omfattning torvmaterialet har brutits ned och på vilka nivåer den huvudsakliga grundvattenbildningen och grundvattenströmningen äger rum. En drift där marklagren ibland friläggs, och därmed kan torka upp, riskerar sannolikt att ge en sämre vattenkvalitet än om marken i huvudsak behålls vattenmättad.

2. Bortschaktning av massor för att skapa en bassäng

Om man istället avlägsnar ytliga jordlager inklusive eventuella torvlager är påverkan på vattenkvaliteten sannolikt betydligt mindre.

I de fall en vattentäkt idag har höga halter av t ex klorid eller bor kan vattenkvaliteten i detta avseende förbättras om man ökar grundvattenbildningen. Vid konstjord infiltration bör en viss minimiuppehållstid upprätthållas (medeluppehållstiden från infiltration till brunn ska vara minst 14 dagar för att vattnet ska räknas som grundvatten och inte behöva den vattenbehand-

ling som krävs vid ett ytvattenverk). Detta bör även beaktas vid planering av våtmarksanläggning vid vattentäkt.

Det finns även risker med att våtmarker i anslutning till vattentäkter skulle kunna medföra en bakteriell påverkan från t.ex. betande djur och fåglar.

TILLVÄGAGÅNGSSÄTT OCH METODVAL

Ett mål med projektet var att ta fram en metod för framtagande av lokala förutsättningar för anläggande av våtmarker med syfte att öka grundvattenbildningen kopplat till grundvattentäkter. Arbetsgruppen, som har inkluderat alla berörda parter, har haft ett flertal möten och processen från starten till presentationen av förslaget kan beskrivas enligt nedan.

1. Insamling av underlagsdata i form av GIS-skikt, t.ex. högupplöst höjddata
2. Bearbetning av data, t.ex. bedömning av tillrinningsområde
3. Workshop med genomgång, diskussion och ett första urval av vattentäkter
4. 3D-visualisering av valda vattentäkter
5. Platsbesök
6. Workshop med diskussion och slutliga urval samt förslag på nya brunnslägen
7. Grundvattenmodellering av två typfall
8. Rapportskrivning och diskussioner med Region Gotland
9. Presentation av resultat för Region Gotland.

I förberedelsefasen diskuterades vilka underlag som krävs för att kunna göra en bedömning. De parametrar som ansågs vara viktigast var

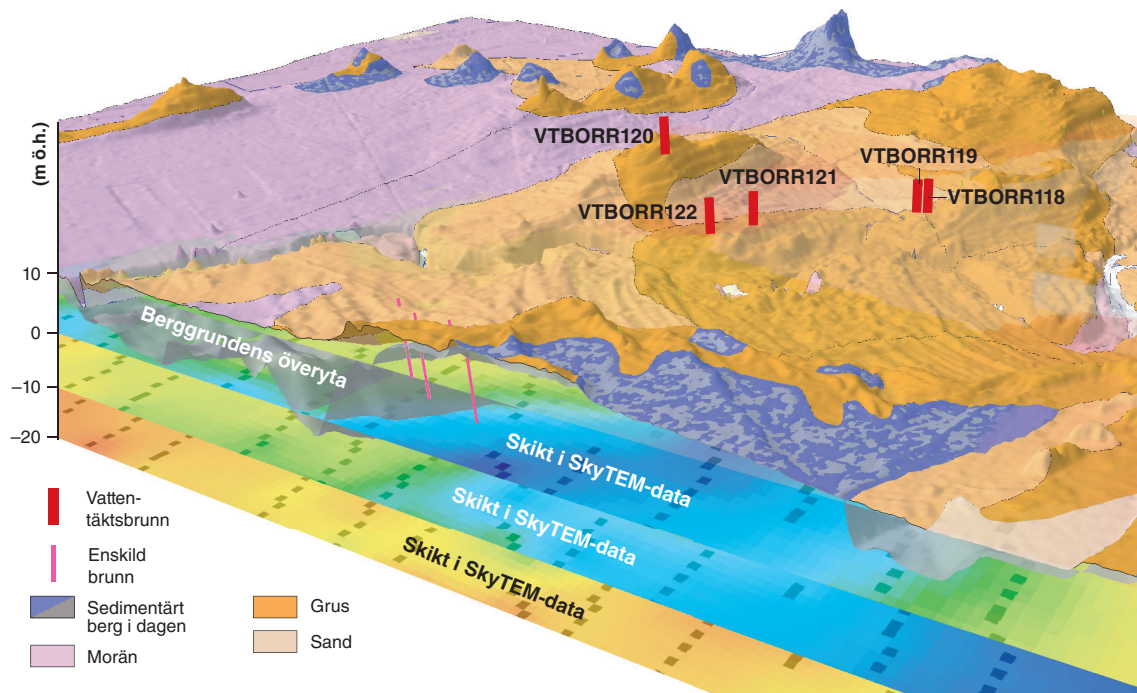
1. närhet till ytvatten av tillräcklig storlek
2. infiltrationsmöjligheter
3. magasineringsmöjligheter.

Som utgångspunkt har vi använt oss av ett GIS-lager med information om vattentäkter, i form av brunnsdata (x, y, z) som bygger på insamlad information från Region Gotland samt databas- och arkivuppgifter. Förutom koordinater och djup har vi i diverse utredningsmaterial letat efter underlagsdata i form av tillrinningsområden, vattenskyddsområden, provpumpningar m.m. Region Gotland har även levererat ett GIS-lager över den VA-infrastruktur som finns på Gotland, med överföringsledningar, etc.

När det gäller mängden tillgängligt ytvatten i närheten, så har vi förutom information om sjöar och vattendrag, använt oss av GIS-lager med dels dikningsföretag från Länsstyrelsen och dels ett hydrografilager från Lantmäteriet som visar både samtliga vattendrag som finns i den ekonomiska kartan och dess flödesriktning. Dessa underlag har hjälpt oss i arbetet att identifiera tillrinningsområden och att beräkna medelflöden i en godtycklig plats i vattendragen.

För varje brunn har vi utfört beräkningar av topografiska tillrinningsområden vilket, framförallt när det gäller vattentäkter i jord, har varit intressant för bedömningen av förutsättningarna i brunnarnas omedelbara närhet. I vissa fall, främst för djupare bergborrade brunnar, har det dock varit svårt att bedöma tillrinningsområdet. Genom att använda oss av höjddata från lantmäteriet kan man dels utföra beräkningar i form av flödesackumulering och avrinningsområden, dels göra skrivbordsbedömningar över vilka förutsättningar som råder i området vad gäller t.ex. terräng.

En viktig del i arbetet har varit att jämföra vattentäckernas läge med forna våtmarker, något som har varit möjligt tack vare den skattläggningskarta som Länsstyrelsen hade. Den går att likna vid en markanvändningskarta från 1700-talet.



Figur 12. 3D visualisering (Q-Gis) av höjddata, berggrundsytta, jordartskarta, SkyTEM-data och brunnar. Notera att höjdskillnader är starkt överdrivna för att förtydliga de topografiska förhållandena.

Ren bakgrundsdata i form av SGUs information vad gäller brunnar, jordart, jorddjup, berggrund och hydrogeologi har använts för att ge en översiktlig bild av de geologiska förutsättningarna i vattentäckernas närområde.

Vi har även använt oss av SkyTEM data där sådan finns tillgänglig. I vissa områden har vi inte hunnit bearbeta SkyTEM-data färdigt vid denna rapportens publicering, men den rapporten beräknas publiceras under första kvartalet 2017.

För att skapa en visuell bild av områdena har vi matat in de olika lagren i ett GIS-program där vi skapat en visuell 3D-modell (fig. 12) över området med förstärkning av höjdskillnader för att lättare kunna bedöma förutsättningar för att förstärka grundvatteninfiltration.

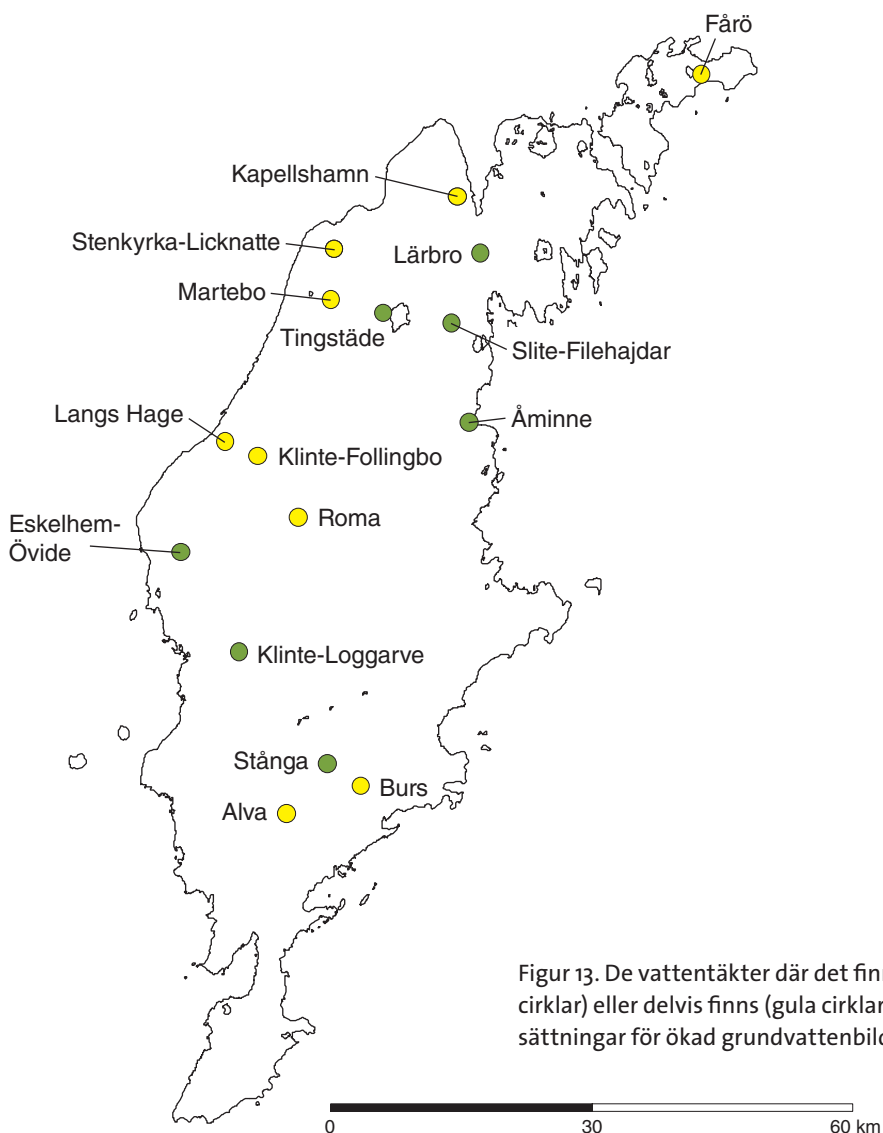
Samtliga vattentäktsområden besöktes för kontroll av de förutsättningar och slutsatser vi gjort via data. I flera fall visade det sig att man vid fältbesöket kunde göra en bättre bedömning av t.ex. ytvattenflöde, men framförallt fick man en bättre känsla för hur närområdet såg ut och kan tänkas fungera hydrologiskt.

VATTENTÄKTER OCH FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ÖKAD GRUNDVATTENTILLGÅNG

I detta kapitel presenteras det primära syftet med projektet, d.v.s. ”Ett beslutsunderlag med utpekade områden med goda förutsättningar för anläggande av våtmarker med syfte att stärka kvantiteten i angränsande grundvattenmagasin”. Regionens vattentäkter har under projektets gång delats in i tre huvudsakliga grupper (tabell 1), beroende på förutsättningarna för att öka grundvattenbildningen genom våtmarksanläggande och infiltrationsanläggningar, som redovisas nedan i tabellform och sedan i respektive kapitel. I figur 13 visas de vattentäkter där det helt eller delvis bedöms finnas förutsättningar. Reservvattentäkter samt nedlagda vattentäkter har inte ingått i arbetet.

Tabell 1. Vattentäkter som ingått i projektet samt indelning i vattentäkternas bedömda förutsättningar för att öka grundvattenbildningen genom våtmarksanläggande eller infiltrationsanläggningar. Notera att det endast är vattentäkterna där det finns förutsättningar som listas i ordning efter bedömda förutsättningar, i de två andra kolumnerna listas vattentäkterna i bokstavsordning.

Vattentäkter med goda förutsättningar för att öka grundvattenbildningen	Vattentäkter där det delvis finns förutsättningar för att öka grundvattenbildningen	Vattentäkter där det saknas förutsättningar för att öka grundvattenbildningen
Åminne	Alva	Furulund
Eskelhem–Övide	Burs	Lojsta
Stånga	Fårö	Skogsholm–Visby
Slite–Filehajdar	Kapellshamn	Tofta
Lärbro	Klinte–Follingbo	Träkumla
Klinte–Loggarve	Langs hage	Västringe
Tingstäde	Martebo	
	Roma	
	Stenkyrka–Licknatte	



Figur 13. De vattentäkter där det finns (gröna cirklar) eller delvis finns (gula cirklar) förutsättningar för ökad grundvattenbildning.

Vattentäkter med förutsättningar för att öka grundvattenbildningen genom våtmarksanläggande eller infiltrationsanläggningar

I tabell 2 visas en sammanställning på vattentäkter samt förutsättningar för ökad grundvattenbildning kopplad till de tre huvudkriterierna: ytvatten, infiltration och magasinering. Vattentäkterna är listade enligt vår bedömning, Åminne är med andra ord den vattentäkt där vi bedömer att förutsättningarna är bäst. Varje vattentäkt går igenom noggrannare var för sig senare i kapitlet.

Tabell 2. Tabellen sammanfattar den viktigaste informationen kring förutsättningarna för de sju vattentäkter där vi bedömer att det finns förutsättningar för att öka grundvattenbildningen och i förlängningen skapa ökade uttagsmöjligheter.

Vattentäkt	Ytvatten	Infiltration	Magasinering
Åminne	Ytvatten finns i tillräcklig mängd och närhet, framförallt från Gothemsån.	Infiltrationsbenägna jordar med mäktighet finns i närområdet.	Ett antal olika magasineringssmöjligheter och platser finns.
Eskelhem–Övide	Ytvatten finns i tillräcklig mängd och närhet från Idån.	Infiltrationsbenägna jordar finns i närområdet.	Magasineringssmöjlighet och plats finns.
Stånga *	Ytvatten finns i tillräcklig mängd i Strömmeån, men avståndet är stort. Övrigt ytvatten tveksam kvalitet.	Infiltrationsbenägna jordar finns i närområdet.	Magasineringssmöjligheter och platser finns.
Slite Filehajdar *	Ytvatten finns, inklusive vatten från kalkbrott, i tillräcklig mängd och närhet.	Osäkerhet kring infiltrationsmöjligheterna i berg.	Magasineringssmöjligheter och platser finns.
Lärbro	Ytvatten finns i tillräcklig mängd i närheten.	Infiltrationsbenägna jordar med tillräcklig mäktighet finns i närområdet.	Magasineringssmöjligheter och platser finns.
Tingstäde	Ytvatten finns i tillräcklig mängd men används delvis redan. Ytterligare ytvatten längre bort men med tveksam kvalitet.	Infiltrationsbenägna jordar med tillräcklig mäktighet finns på flera platser och stora arealer i närområdet.	Magasin finns, bl.a. Tingstädeträsk. Finns även förutsättningar för dammar och återskapade våtmarker.
Klinte–Loggarve	Ytvatten finns i närheten, tveksamt om mängden är tillräcklig.	Infiltrationsbenägna jordar finns i närområdet, eventuellt otillräcklig mäktighet.	Magasineringssmöjligheter och platser finns.

*Grundvattenmodell utförd, se bilaga 1 och 2.

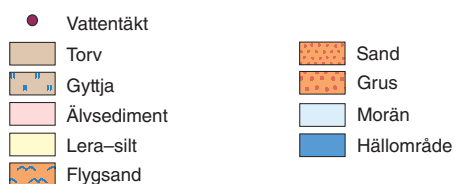
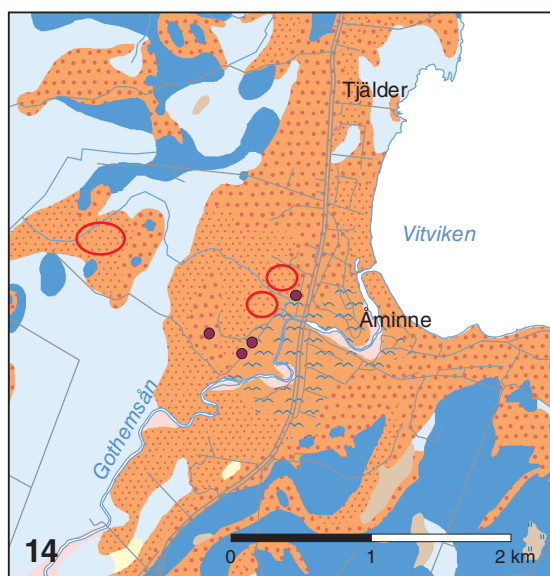
Åminne

Förutsättningarna för att öka grundvattenbildningen vid vattentäkten i Åminne är synnerligen goda då det finns tillräckligt med ytvatten (Gothemsån) i närheten, samtidigt som det finns jordlager med god infiltrationskapacitet (sand och grus, fig. 14) och tillräcklig mäktighet (5–20 m, fig. 15) i brunnarnas tillrinningsområde.

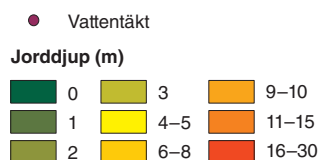
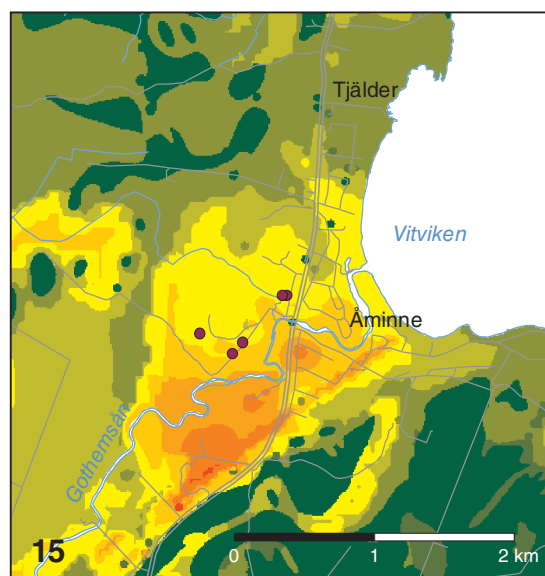
Vattentäkten består av fem bergborrade brunnar (30–36 m djupa) och har en miljödom (M4106-14) som tillåter ett uttag på maximalt 175 m³/dygn dock maximalt 60 000 m³/år. Nuvarande råvattenförbrukning är ca 10 m³/dygn på vintern och 80 m³/dygn på sommaren (totalt ca 10 000 m³/år) vilket gör att det finns en god marginal i det tillstånd som finns. Regionen har även påbörjat ett arbete med ett vattenskyddsområde för vattentäkten. Det betyder att det finns ny och tillförlitlig data från propumpningar och nivåmätningar i området.

Utförda propumpningar visar att uttag på 70–75 m³/dygn från vardera brunn är möjlig. Grundvattenbildningen till vattentäkten uppskattas till ca 50 mm/år och beräknas ske inom ett ca 10 km² stort område vilket ger ca 16 l/s vilket kan jämföras med brunnarnas tillåtna maxuttag på ca 2 l/s. Den huvudsakliga grundvattenströmningen sker från väst mot ost.

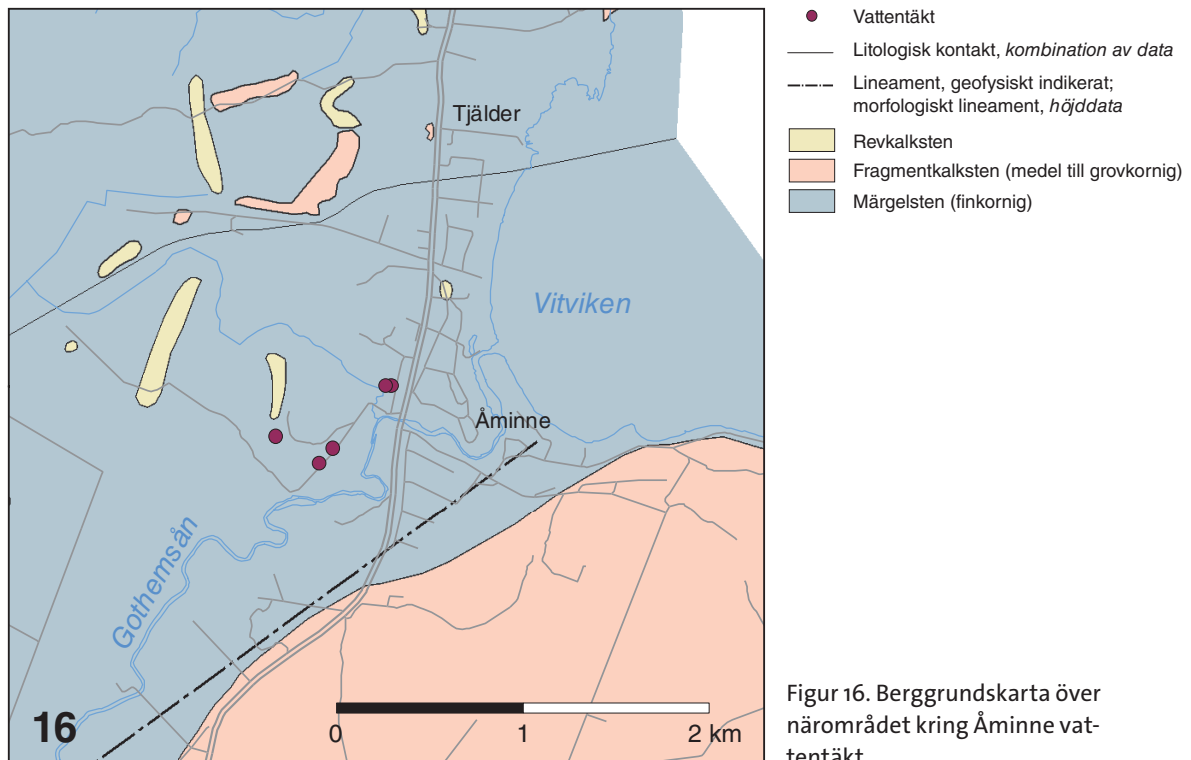
Jordlagren är som mäktigast på södra sidan om Gothemsån (fig. 15). Det bör utredas om man kan sätta nya brunnar här som kan tillgodogöra sig grundvatten i sandlagren samt infiltrerat ytvatten från Gothemsån. Lagerföljdsinformation från brunnar i området visar att det grovkorniga materialet i vissa områden underlagras av lera vilket gör att förutsättningarna för lyckad infiltration till grundvattenmagasinet i berg varierar inom området. I anslutning till de stora jorrdjupen söder om ån sker även en förändring i berggrunden från mörkel i norr till en



Figur 14. Jordartskarta över Åminne vattentäkt och dess närområde. Röda ovaler symboliserar möjliga vattmarkslägen som diskuteras i texten (fig. 17).



Figur 15. Jorddjupskarta över Åminne vattentäkt och dess närområde.



renare kalksten i söder (fig. 16). Det finns flera exempel på Gotland där just gränsområdena mellan revkalksten och märgel kan utgöra bra brunnslägen. Kombinationen med stora jorddjup och rådande berggrundsförhållanden gör detta område mycket intressant ur ett dricksvattenperspektiv.

Vattentäkten ligger nära Göthemsåns utlopp. Göthemsån är Gotlands största vattendrag med ett tillrinningsområde på 470 km², ett medelflöde på 3,8 m³/s och ett medelhögvattenflöde på 29,3 m³/s (SMHI 2016). Enligt Akvanovum (2014) pekar provpumpningsresultaten på att Göthemsån inte har någon direkt hydraulisk kontakt med berggrundsakviferen (i alla fall inte inom påverkansområdet) och att detta beror på att det finns tätande lager under ån som försvårar en sådan kontakt. Förutom Göthemsån finns även ett dike som avvattnar Mästermyr norr om vattentäkten. Diket, som avvattnar en areal på 6,4 km², kan beräknas ha en medelvattenföring på omkring 50 l/s. Diket rinner ner mot Göthemsån mellan de två brunnsområdena (fig. 14). Det finns två områden i närheten av brunnarna i nordost som redan idag är fuktiga, dessa borde gå att optimera för ändamålet (fig. 17 & 14). Det skulle även vara möjligt att leda vattnet mot de andra brunnarna i sydväst.

Ett tredje alternativt brunnsläge är ett område ca 1 km nordväst om de befintliga brunnarna (fig. 14). Detta område är sandigt och ligger i något som kan betecknas som en skålförm igenom vilket det går ett dike. Vid besök i juli 2016 var diket helt torrt och bedömningen är att vattenmängden i diket kan vara i minsta laget för att ge ett tillräckligt tillskott. Den modellerade årsmedelvattenföringen inom det 4,9 km² stora tillrinningsområdet har dock bedömts till ca 36 l/s och en uppdamning bör vara möjlig. Berggrunden inom området består i huvudsak av märgelsten, dock utgörs den östra kanten av skålförmen av mer vittringsbeständig revkalksten (fig. 16). Som nämnts ovan finns det flera exempel på Gotland där just gränsområdena mellan revkalksten och märgelsten kan utgöra bra brunnslägen. Området i skålförmen är idag till största delen uppodlat.



Figur 17. Fuktigt område nära vattentäktsbrunnarna i nordost (se markering i fig. 14). Området består till stor del av al och björkskog och är fuktigt stora delar av året. Den bäck som rinner från nordväst går genom detta område. Foto: Peter Dahlqvist.

Analys av råvatten från Åminne vattentäkt visar på en relativt god vattenkvalitet dock med påverkan från naturligt förekommande bor, mycket hög alkalinitet (ca 282–311 mg/l) och relativt höga halter när det gäller klorid (ca 50–77 mg/l), konduktivitet (ca 70–85 mS/m), och natrium (ca 50–95 mg/l). Man behöver idag använda membranrening för att få bort bor. Denna reningsprocess gör att en tredjedel av råvattnet förbrukas. Om man skulle lyckas med att öka grundvattenbildningen genom ett tillskott av vatten från Gothemsån kommer kemin att påverkas. Kanske kan man då få ner halterna bor med hjälp av utspädningseffekter. Dock gäller det att balansera mängden infiltrerat vatten så att man inte får en jordbrukspåverkan istället.

SGU utförde 2015 SkyTEM-undersökningar, en geofysisk metod som mäter resistiviteten i marken, i området. Data bearbetades under 2016 och kommer att redovisas i rapportform under 2017. Den preliminära tolkningen är att det i området kring vattentäkten i Åminne finns liknande, d.v.s. goda förutsättningar för att sätta ytterligare brunnar, både norr och söder om ån och även i det område som pekas ut som ett tredje alternativ. SGU utför verifieringsborrningar och markmätningar i området under hösten och vintern 2016 och resultaten från dessa redovisas i rapportform 2017.

Förslag på handlingsplan för Åminne

- Avvakta SkyTEM-rapport (2017).
- Utför undersökningar med markradar och skruvborrningar, framför allt i områden som indikerar stora jorddjup (fig. 15).
- Lägg in data i form av lagerföljder, jorddjup, grundvattennivåer, etc. i en geologisk och hydrogeologisk modell.

Eskelhem–Övide

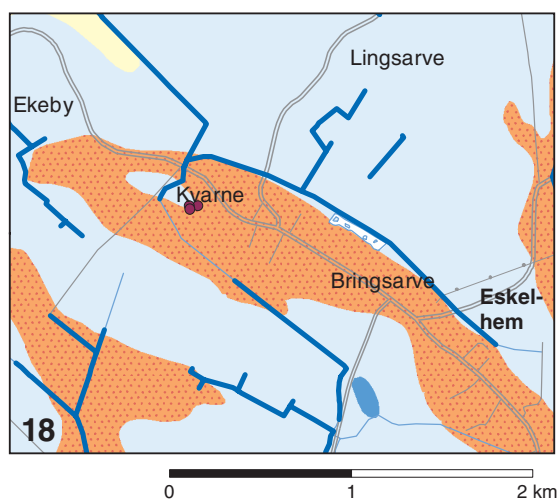
Vid vattentäkten i Eskelhem–Övide finns det goda förutsättningar för ökad grundvattenbildning om man ser till närheten till ett ytvatten av tillräcklig storlek, samt det faktum att det finns mäktiga jordlager med god infiltrations- och magasineringskapacitet.

Vattentäkten består av tre bergborrade brunnar, ca 50 m djupa, och det finns ett vattenskyddsområde från 1974 för vattentäkten. Jordarten som brunnarna ligger i är en strandvallsavlagring (fig. 18). Berggrunden utgörs av mägersten och i närheten av brunnarna finns indikationer (via VLF) på en eventuell förkastning i sydvästlig–nordostlig riktning (fig. 19). Medeluttaget 2013–2015 var ca 35 000 m³/år (Region Gotland 2016). På jordartskartan finns ett område med morän inom strandvallsavlagringen i anslutningen till brunnarna (fig. 18), men området består huvudsakligen av sand med relativt stor mäktighet (5–15 m). I området finns bland annat en grundvattenutredning utförd av VIAK (1961). Vad man i huvudsak kan dra lärdom av ifrån denna utredning är:

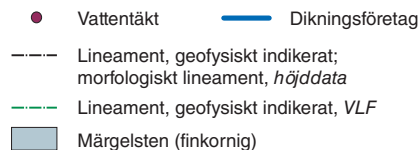
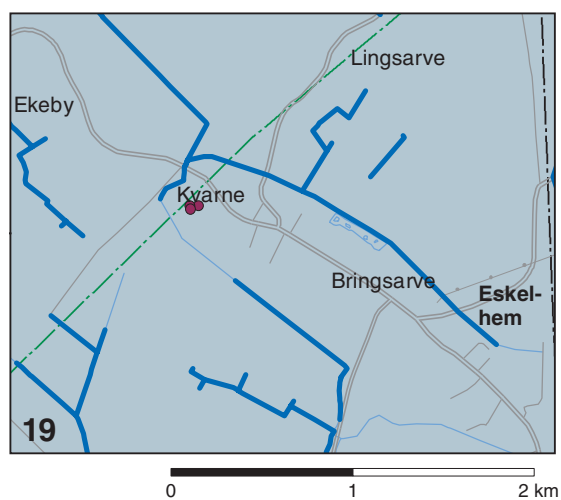
- Grundvattennivån i berg ligger endast någon meter under markytan.
- Ett varaktigt grundvattenuttag på 100 l/min ger en avsänkning på ca 8–9 m.
- Saltvattengränsen kommer på ca 50 m djup.
- Sanden (2 m) underlagras av mäktiga (7 m) lerlager vid en av brunnarna.

I SGUs Brunnsarkivet finns ett antal brunnar i närområdet registrerade, vilka i huvudsak verifierar ovanstående slutsatser. Dock finns det lagerföljdsuppgifter som visar på att det, i alla fall lokalt, även finns ett starkt vattenförande gruslager mellan den mäktiga leran och berggrunden vilket är intressant.

Strax väster om brunnarna passerar en bäck med ett avrinningsområde på ca 22 km² förbi strandvallen som här har en som synes naturlig morfologi (fig. 20). Trots generellt låga grundvat-



Figur 18. Jordartskarta över vattentäkten och dess närområde.



Figur 19. Berggrundskarta över vattentäkten och dess närområde. Notera den tolkade svaghetszonen, grön streckad linje.

tennivåer vid tidpunkten för fältbesöket (maj 2016) så hade bäcken ett rikligt flöde (uppskattningsvis 10–20 l/s). Den modellerade årsmedelvattenföringen vid bron är ca 160 l/s. Bäckens gång delvis parallellt med sandavlagringen (fig. 18) men det bästa vore att ta vatten från ån väster eller söder om vattentäkten då det kommer två flöden norrifrån som går ihop strax innan bron. Bäckens heter Idån längre nerströms och rinner ut via naturreservatet vid Paviken innan den når havet.

Vid denna vattentäkt finns således tillräckligt med ytvatten väldigt nära till hands. En möjlighet är, att under perioder med högre vattenflöden, förstärka vattentillgången i befintliga brunnar genom att låta vatten infiltrera från bäcken i strandvallen i området mellan bäcken och uttagsbrunnarna (för schematisk bild se fig. 8). Vad som då krävs är att det finns en tillräckligt stor areal med tillräckligt mäktiga jordlager med tillräckligt stor infiltrationsbenägenhet. Vi gör bedömningen att det är troligt att dessa förutsättningar finns vid vattentäkten. Dessutom måste vattnet från jordlagren infiltrera i tillräcklig omfattning till berggrunden vilket dock kan vara svårt då denna består av mörk ler. Dock ligger den naturliga grundvattennivån i berget ytligt (VIAK 1961) vilket talar för att möjligheterna att infiltrera bör vara goda, förutsatt att man ökar uttaget. I skogsområdet finns tecken på att det har skett någon form av skogsdikning, det är osäkert om så är fallet men oavsett bör det kollas upp.

En annan möjlighet är att skapa en damm eller våtmark där man magasinerar vatten under högflödessituationer och sedan låter vatten infiltrera kontinuerligt eller när behovet finns. Det stråk med morän som ligger i centrala delarna av svallmaterialet kan vara tillräckligt mäktigt och det finns tecken på mäktiga lerlager som underlagrar sanden vilket gör att det finns god möjlighet att anlägga magasin i form av dammar här.

I närheten av de befintliga brunnarna finns också en tolkad svaghetszon i berget (fig. 19), vilken kan utgöra en bra brunnsplacering. Detta område kan även ha mäktigare jordlager. Det finns en våtmark nordost om sandavlagringen (fig. 18). Om den är naturlig eller vilket syfte den har eller har haft bör utredas.



Figur 20. Foto på Idån strax väster om vattentäkten.
Foto: Peter Dahlqvist.

Förslag på handlingsplan för Eskelhem–Övide

- Utför undersökningar med markradar och skruvborrningar.
- Lokalisera grundvattennivåer, undersök lagerföljder och jorddjup.
- Skapa en geologisk och hydrogeologisk modell.
- Överväg att låta undersökningarna ligga till grund för en uppdatering och revidering av vattenskyddsområdet som får anses vara ålderstiget.
- Skaffa miljödom för vattenuttag.

Stånga

Vid vattentäkten i Stånga finns det mycket goda förutsättningar för ökad grundvattenbildning om man ser till de mäktiga jordlager med god infiltrationskapacitet som finns i området. Det som kan vara begränsande för bassänginfiltration är tillgången på tillräckligt stora mängder ytvatten. Det är också troligt att man behöver nya brunnslägen för optimal funktion.

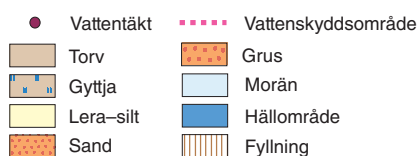
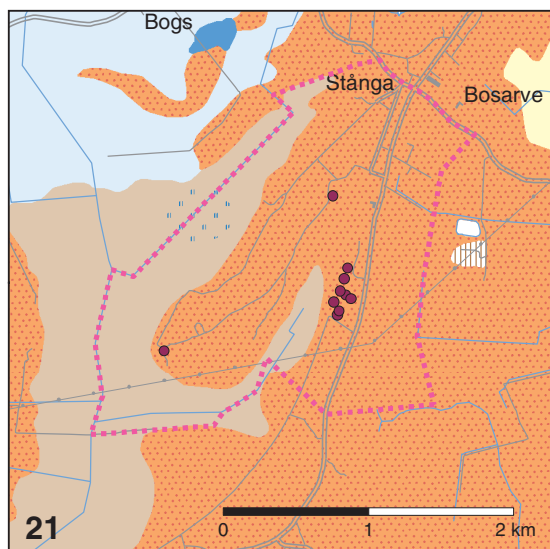
Vattentäkten består av totalt tio brunnar i jord, fördelade på tre områden (fig. 21), dock används inte alla brunnar idag. Medeluttaget för åren 2013–2015 var 340 000 m³/år. Brunnarna, som är 5–8 m djupa, är belägna i en svallsandsavlagring med en medelmäktighet på över 10 m (fig. 21). I den östra delen av avlagringen, där flertalet av brunnarna finns, har det tidigare skett sand- och grustäkt vid ett flertal ställen, i vissa fall ned till grundvattenytan. Under en kort period fanns en fågeldamm anlagd av länsstyrelsen i östra delen som man senare lade igen pga. smittorisk till vattentäkterna (Aaw 2016).

Det svallade materialet är avsatt som strandvallar som syns tydligt i topografin, tydligast är den västra strandvallen som eventuellt har utgjort en isälvsavlagring som har omarbetats.

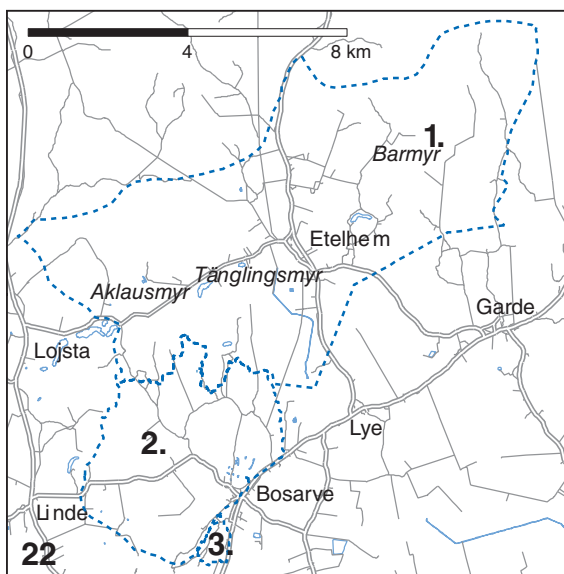
Det finns vattentäktsutredningar kring vattentäkten och ett vattenskyddsområde (se rosa polygon i fig. 21) från vattendomen från 1971 (AD88/70) som medger ett uttag på 1 000 m³/dygn i genomsnitt med ett dygnsmax på 1 200 m³/dygn dock maximalt 360 000 m³/år. Provpumpningar i Stånga visar enligt rapporterna på hållbara uttag av storleken 1 500 m³/dygn och år. Enligt resonemang i vattendomsunderlaget beräknas grundvattenmagasinet ha en storlek på ca 800 000 m³, och vidare anser man att man under en sex veckors period under sommaren kan ta så mycket som 4 000 m³/dygn utan att äventyra det långsiktiga användandet av resursen (AD88/70).

Förutsättningarna för en ökad grundvattenbildning vid vattentäkten är goda då det finns mäktiga grovkorniga jordlager med möjlighet till infiltration och området är relativt välundersökt. Dock saknas större ytvattendrag i närheten vilket framförallt gör det svårt att få tillräcklig volym på den tillförda vattenmängden. Det närmsta större ytvattendraget är Strömmaån som ligger ca 3–4 km från de delar av avlagringen där man kan infiltrera vatten för att utnyttja vid vattentäkten. Det skulle då behövas att man pumpar vatten från Strömmaån under högvattenflöde och antingen lagrade i en våtmark eller infiltrerade direkt i sand- och grusavlagringarna. Tillrinningsområdet till den del av Strömmaån från vilken det är lämpligt att ta vatten är ca 58 km² vilket skulle betyda en årsmedelvattenföring på ca 500 l/s (fig. 22). Det finns dock ytvatten i form av diken, dels mellan brunnsområdena men även väster om den stora strandvallen, som transporterar vad som i huvudsak består av dräneringsvatten från jordbruksmark (fig. 22). Storleken på avrinningsområdet till dikena väster om strandvallen är beräknad till 17 km² vilket innebär en beräknad årsmedelvattenföring på 130 l/s. Detta vatten har troligen något sämre kvalitet än vattnet i Strömmaån.

SGU har även studerat vad en teoretisk våtmark i området mellan de båda vattentäktsområdena skulle kunna ge i ökad grundvattenbildning. Tillrinningsområdet är ca 0,6 km² och mycket av vattnet som kommer att fylla på våtmarken (beräknad tillrinning ca 5 l/s, 160 000 m³/år) kommer från utläckage från svallsanden. Dock är förhoppningen att man genom magasin-



Figur 21. Jordartskarta över närområdet till vattentäkten i Stånga. Den rosa streckade linjen markerar yttre gränsen för vattenskyddsområdet.



--- Vattendelare för avrinningsområden

Figur 22. De blå streckade linjerna visar vattendelaren för tillrinningsområdena till 1. Strömmaån norra delen, 2. diken väster om vattentäkten, 3. lilla diket mellan vattentäcksbrunnarna.

ring kan utnyttja vattnet när behoven är som störst och tillrinningen som minst. Vid fältbesök i maj 2016 består stora delar av odlingen av vall (fig. 23) och frågan kring behov av dikning i detta område bör diskuteras.

Enligt vattentäcksarkivet finns det i råvattenanalyserna en påtaglig jordbrukspåverkan i brunnarna, främst nitrat och fosfat. Då det inte pågår någon odling på de sandiga svallsedimenten uppströms brunnarna är det troligt att det finns sand även under de kringliggande morän-, ler- och torvmarkerna och på så sätt infiltrerat vatten från dessa områden, något som också indikeras i vattenskyddsområdets utformning (fig. 21). I förlängningen betyder det att kontakten mellan brunnarna och det som idag är jordbruksmark kan utnyttjas för ökad grundvattenbildning genom våtmarker på denna uppodlade mark, dock med stor risk för en ogynnsam vattenkvalitet.

SGU utförde 2015 SkyTEM-undersökningar, en geofysisk metod som mäter resistiviteten i marken, i området. Data bearbetades under 2016 och kommer att redovisas i rapportform. Dessa data visar att det finns en omättad zon på mellan en och fem meter och mäktigast är den i den sydvästra delen av strandvallen. Data indikerar även att det kan finnas mer än 15 m mäktiga sand- och grusavlagringar som är grundvattenförande i området. SGU utför verifieringsborrningar och markmätningar i området under vintern 2016 och resultaten från dessa kommer redovisas i rapportform under 2017.

Under åren 2013–2015 har man legat på ca 90 % av vattendomens maxuttag. De geologiska och hydrogeologiska utredningar som finns talar för att den totala grundvattenresursen är klart större än tillståndsgivna uttagen, vilket innebär att den bästa lösningen vid Stånga vattentäkt



Figur 23. Foto på området mellan vattentäcksbrunnarna och Stångaåsen. Foto: Peter Dahlqvist.



Figur 24. Foto på husbehovstäkt i Stångaåsen. Foto: Peter Dahlqvist.

vore att sätta fler brunnar, framförallt i den västra delen av sand- och grusavlagringarna, för att på så sätt kunna tillgodogöra sig en större del av den naturliga grundvattenbildningen. Enligt Jonas Aaw (2016) minskar tillgången med tiden i brunnarna. Detta är inget ovanligt för grävda brunnar då finmaterial kan sätta igen brunnens närområde vilket gör att det blir svårt att få igenom vattnet. Enligt Region Gotland är det bara brunnarna som ligger i den östra delen som används, den brunn som ligger ensam i den västra delen av strandvallen har ”mossevattnet” varför vattnet måste renas rejält om det ska användas. Att man drar på sig vatten från områden med organiskt material pekar mot att det krävs infiltration för att lyckas få ett någorlunda rent vatten om man ska ta stora mängder. I den västra delen av sandavlagringarna finns en husbehovstäkt (fig. 24), som skulle kunna utgöra ett lämpligt ställe för infiltrationsförsök. Strax norr om denna husbehovstäkt finns tre brunnar som enligt brunnsarkivet är 6,5–7,5 m djupa i en sand- och grusavlagring som vardera har en maximal uttagskapacitet på 7 200 l/h.

SGU har upprättat en översiktlig grundvattenmodell över området, den redovisas i bilaga 1. I huvudsak indikerar modelleringsresultatet att det bör vara intressant att gå vidare med att utreda möjligheten att infiltrera ytvatten i Stångaåsen och med hjälp av nya brunnar tillgodogöra sig detta vatten. Den översiktliga modellen visar att relativt stora mängder infiltrerat vatten kan tillgodogöras utan alltför stora förluster till t.ex. ytavrinningen i närheten. Modelleringen indikerar även att man kan få tillräckligt lång uppehållstid genom att anpassa avståndet från infiltrationsbassänger till brunnarna. Fältundersökningar krävs för utredning av faktiska infiltrationsmöjligheter och kalibrering inför mer detaljerad grundvattenmodellering.

Förslag på handlingsplan för Stånga

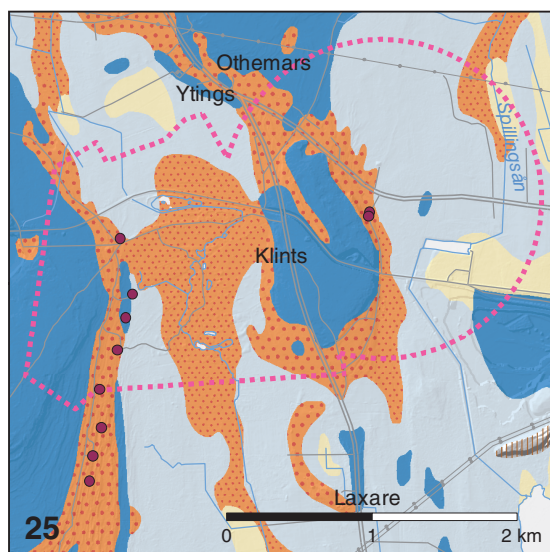
- Avvakta SkyTEM-rapport (2017).
- Utför georadar och skruvborrningar.
- Infoga data i grundvattenmodell.
- Överväg en provinfiltration för att se vart vattnet tar vägen och vilken kvalitet man uppnår.
- Se över vattenskyddsområdet, som är gammalt.

Slite–Filehajdar

Vid vattentäkten i Slite–Filehajdar finns förutsättningar för ökad grundvattenbildning om man ser till den dalgång som dels rymmer något mäktigare jordlager och dels sammanfaller med en zon med ökad infiltrationskapacitet i berg. Det finns möjligheter att dämma befintliga diken och använda sig av bortlett vatten från ett närliggande kalkbrott.

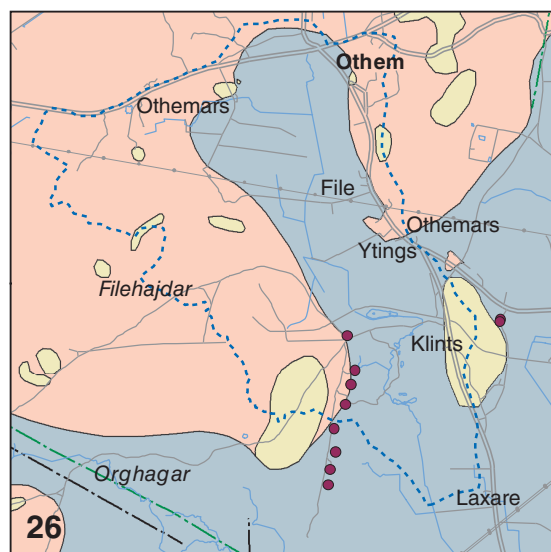
Vattentäkten består av åtta bergborrade brunnar som är 40–60 m djupa. Alla brunnar används inte idag. Medeluttaget 2013–2015 var ca 230 000 m³/år. Det finns ett stort antal utredningar i SGUs arkiv i området både kopplat till vattentäkten och till den vattenverksamhet som sker i de två bergtäkterna som ligger på varsin sida om brunnsgalleriet. Vattenskyddsområdet är äldre (1957) och har en utbredning vars syfte är att skydda ett gammalt brunnsgalleri som delvis används fortfarande (fig. 25). Området har en tydlig dalgång som sträcker sig i nordsydlig riktning från Ytings i norr mot Laxare i söder (fig. 26). Dalgången är fylld av morän och sandavlagringar med en medelmäktighet på ca 5 m men med troliga jorddjup på uppemot 15 m. Bäckens som går genom dalen är recipient för kalkbrottet väster om vattentäkten. Vattnet används delvis till bevattning av golfbanan, magasinering sker i golfbanedammar.

Enligt Cementa sker en årlig bortledning av grundvatten från stenbrottet väster om brunnarna motsvarande 500 000 m³/år. En intressant frågeställning är vad som kommer att hända om och när man slutar med grundvattenbortledningen, hur detta kommer att påverka brunnarna, dels



- Vattentäkt
- Lera-silt
- Sand
- Grus
- Vattenskyddsområde
- Morän
- Berg, sedimentärt
- Fyllning

Figur 25. Jordartskarta över vattentäkten Slite–Filehajdar och dess närområde. Jordartskartan är kombinerad med höjddata. Den rosa streckade polygonen motsvarar den yttre gränsen för vattenskyddsområdet för vattentäkten i Slite.



- Vattentäkt
- Avrinningsområde
- Litologisk kontakt, *kombination av data*
- Lineament, geofysiskt indikerat; morfologiskt lineament, *höjddata*
- Lineament, geofysiskt indikerat, *VLF*
- Revkalksten
- Fragmentkalksten (medel till grovkornig)
- Märgelsten (finkornig)

Figur 26. Modellerat tillrinningsområde för diket som dränerar ut söder om golfbanan. Berggrunds-karta som underlag.

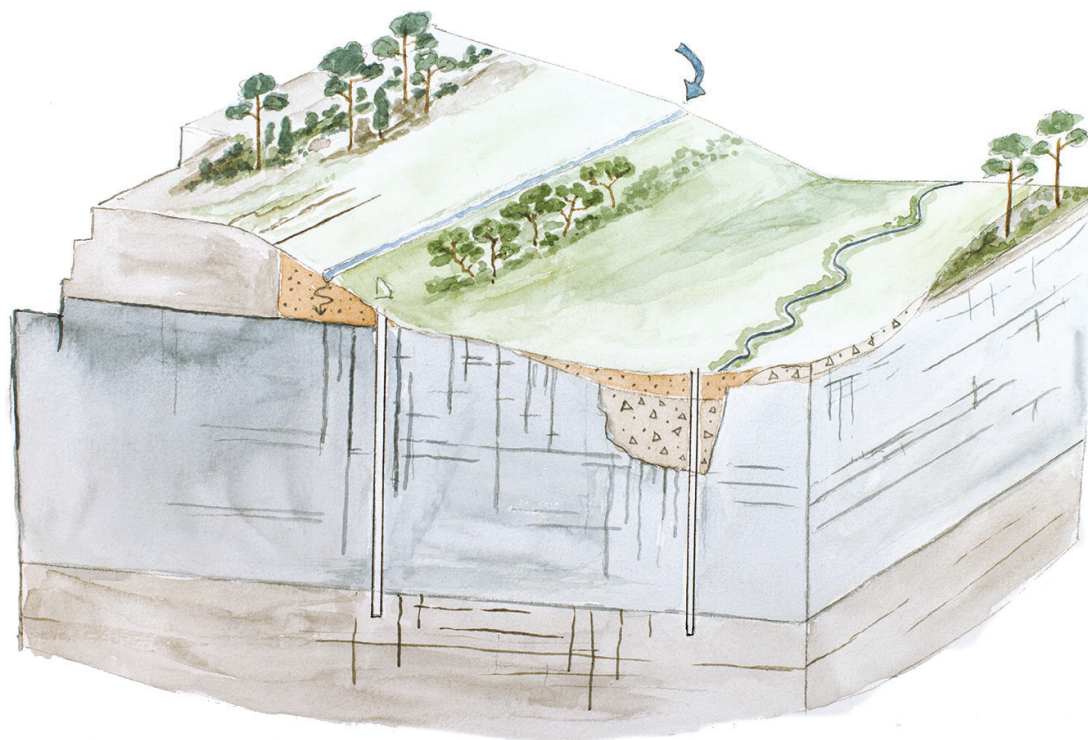
kortsiktigt (några månader), dels långsiktigt (tio år). Kvaliteten på vattnet från stenbrottet är enligt företaget Cementa i princip samma som grundvattenkvaliteten i området. Cementa har påbörjat nytt samrådsförfarande då de avser utöka bergtäkten. För detta ändamål kommer en konsult att bl.a. skapa en grundvattenmodell som man bör kunna använda även för en utökad vattentäkt.

De brunnar som används idag är lokaliserade till en sprickzon som går i nord-sydlig riktning och sammanfaller med dalen. Troligen är det i området med sprickzonen man bör anlägga våtmarker då det är betydligt större infiltrationskapacitet här än utanför, då berggrunden består av mörklera (se bilaga 2, Sveriges geologiska undersökning 1977).

Om man ska öka grundvattenbildningen i området finns det två huvudalternativ (fig. 27):

1. Att lyfta ytvatten och sprinkla i strandvallen som brunnarna är belägna i.
2. Att meandra vattendrag och anlägga våtmarker i botten på dalen nedströms golfbanan.

I båda fallen bör man utreda om man kan använda vattnet från kalkbrottet innan de släpper ut det i diket. Avrinningsområdet för de diken som dräneras ut från golfbanan är ca 14 km² och tillsammans med det vatten som dräneras bort från kalkbrottet ger detta en årsmedelvattenföring på ca 400 l/s. Vid fältbesök, i maj 2016, vid diket norr om golfbanan kunde vi lokalisera grundvattenutflöde (11.4 °C) i bäckkanten i områden där bäcken rann genom sandiga jordar vilket visar att det sker ett utbyte mellan grundvatten och ytvatten i området. Det handlar om att



Figur 27. Principskiss på infiltrationsmöjligheter för förstärkt grundvattenbildning i anslutning till vattentäkten i Filehajdar. Notera att figuren är utdragen i höjddled för att förtydliga de geologiska förhållandena.

magasinera vattnet vid de höga flödena, under höst, vinter och vår. En fråga är hur mycket vatten man kan infiltrera under vintermånaderna. Det finns brunnar som är artesiska under delar av vintern vilket pekar på ett välfyllt grundvattenmagasin.

När det gäller alternativ 1 är den stora frågan om det vatten man infiltrerar i det relativt tunna jordlagret kommer att komma grundvattenmagasinet i berg tillgodo eller om det bara kommer att rinna av längs bergets yta eller de översta metrarna längs sprickor. Vad som talar för att det skulle fungera är den sprickzon som ligger i närheten av brunnar och som enligt utredningar skiljer sig markant från omkringliggande berg vad gäller transmissivitet.

Vad gäller alternativ 2 är det flera saker som talar för att man kan få ett större magasin i dalgången som förses med både ytvatten och ytligt grundvatten. Enligt Tullström (1954) gjorde avsänkningar från brunnarna att ett antal kupolkällor vid Dyhagen (mellan brunnarna och golfbanan) torkade ut. Dessa källsprång kom sig av att grundvatten från kalkberggrunden rann ut vid en nivå där kalkstenen underlagras av en tät mörgelsten. Källornas kapacitet var enligt Tullström (1954) ca 180 m³/dygn. Det tyder på att det finns en klar kontakt mellan brunnarna och det ytliga grundvattenflödet. Tullström (1954) bedömde att man bör kunna tillgodogöra sig ca 200 m³/dygn (2,3 l/s) från de lösa jordlagren i denna dalgång. Om man dessutom kan infiltrera delar av det ytvatten som kommer vid högflöde samt från bergtäkten bör man kunna etablera nya brunnar något mer centralt i dalgången (fig. 27).

SGU utförde 2015 SkyTEM-undersökningar, en geofysisk metod som mäter resistiviteten i marken, i området. Data bearbetades under 2016 och redovisas i rapportform under 2017. Preliminära tolkningar tyder på att liknande förutsättningar som finns vid vattentäcksbrunnarna finns över ett större område. Det finns med andra ord stora möjligheter att göra fler vattentäcksbrunnar och därmed öka uttagskapaciteten. SGU kommer under vintern 2016–2017 utföra markmätningar i området som redovisas i rapportform 2017.

SGU har upprättat en översiktlig grundvattenmodell över området, den redovisas i bilaga 2. I huvudsak indikerar modelleringsresultatet att det bör vara intressant att utreda möjligheten att infiltrera ytvatten i området för att tillgodogöra sig delar av detta vatten som grundvatten. Modelleringen visar att det är stora variationer i uttagskapacitet och läckage förbi brunnsgalleriet beroende på var man lägger infiltrationsbassängerna. Modelleringen har även fokuserat på långtidseffekter hos akviferen för att visa på möjligheten till säsongsviss infiltration (vinter) och uttag (sommar). Resultaten är intressanta men kommer att kräva ytterligare utredning för optimerad drift. Fältundersökningar krävs för utredning av faktisk infiltrationsmöjlighet och kalibrering inför mer detaljerad grundvattenmodellering.

Förslag på handlingsplan för Slite–Filehajdar

- Avvakta SkyTEM-rapport (2017).
- Avvakta Cementas ansökan om förlängt tillstånd för kalkbrytning, som kommer att innehålla en grundvattenmodell.
- Utför georadarmätningar och skruvborrningar i jordlagren.
- Överväg provinfiltration för att se vart vattnet tar vägen och vilken kvalitet man uppnår.
- Vattenskyddsområdet är gammalt och bör ses över.

Tingstäde

I direkt anslutning till vattentäkten i Tingstäde gör vi bedömningen att det är tveksamt om projektets syfte går att tillämpa. Dock finns det några ställen i närområdet som är intressanta vilket gjort att vi ändå valt att ta med Tingstäde i detta kapitel. Här finns nämligen goda förutsättningar för ökad grundvattenbildning genom bassänginfiltration och möjlighet att dämna diken och skapa våtmarker. Närheten till stora mängder ytvatten gör området extra intressant.

Vattentäkten består av två bergboreade brunnar som är 50 respektive 58 m djupa. Brunnarna ligger på en industritomt vilket inte är optimalt, vare sig ur skyddssynpunkt eller beaktande möjligheten för att brunnarna ska kunna tillgodogöra sig vatten från en skapad våtmark eller infiltrationsbassäng. Under 2016 har man fått problem med kvaliteten med avseende på bensen och glykol och man har inte lyckats identifiera källan till föroreningen. Med anledning av de hydrologiska och geologiska förutsättningarna samt det faktum att det finns en väl utvecklad VA-infrastruktur i området har vi valt att göra en bedömning av förutsättningarna för att öka grundvattenbildningen inom ett utökat område kring vattentäkten (fig. 28).

Förutsättningarna för att öka grundvattenbildningen anses vara lovande. Närheten till Tingstäde träsk, som är Gotlands näst största sjö, samt förekomst av mäktiga isälvsavlagringar, strandvallar och svallsandsfält talar för att såväl klassisk bassänginfiltration som våtmarksanläggande borde vara möjliga. Region Gotland använder Tingsstäde träsk som ytvattentäkt, med ett medeluttag under 2013–2015 på ca 910 000 m³. Sjön är invallad och en vattendom bestämmer vattennivå, minimiflöde och uttagsmängd. Ett vattenskyddsområde finns för Tingstäde träsk (fig. 28). De låga nivåerna i Tingstäde träsk under t.ex. 2016 talar dock mot att man kan använda sig av detta ytvatten i större mängder. Dock skulle fördröjningsmagasin i form av våtmarker, t.ex. i de tre utdikade områdena söder och öster om sjön (fig. 28) kunna bidra till Tingstäde träsks tillrinning under sommarmånaderna.

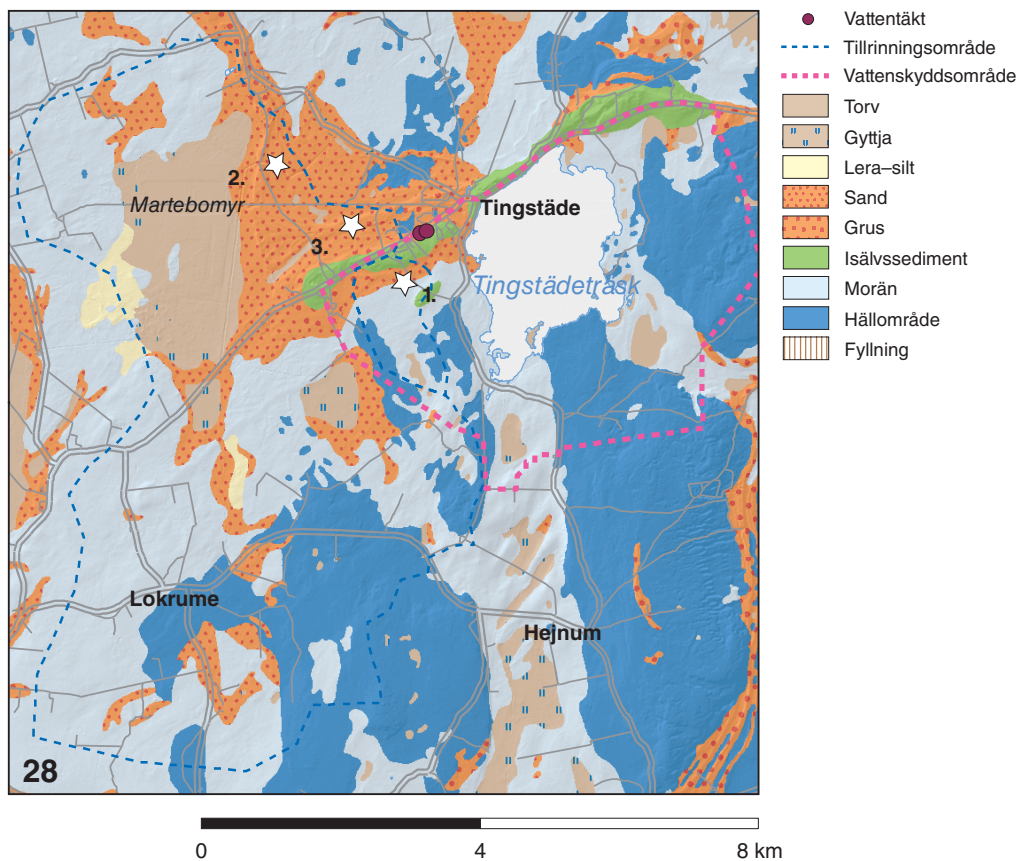
Isälvsavlagringen är uppdelad i två delar, en nordostlig och en sydvästlig, vilka åtskiljs av ett svallsandsområde där Tingstäde träsk har sitt utlopp (fig. 28). Topografin hos den nordöstra delen av isälvsavlagringen är rätt markant med ett tydligt åskrön och den sluttar något från nordväst mot sydost. I höjddata kan man ana sig till att isälvsavlagringen fortsätter västerut med ytterligare en utlöpare som avslutas i en deltaavlagring (se stjärna 3 i fig. 28). Den sydvästra delen av isälvsavlagringen är mindre markant än den norra och har en relativt jämn överyta (fig. 28). Vi har studerat tre möjliga områden för våtmarker eller infiltration (fig. 28):

Alternativ 1

Den ena möjligheten är att sätta nya brunnar strax söder om samhället och den nuvarande brunnen (se stjärna 1 i fig. 8). I området finns även en liten bäck som skulle gå att dämna. Tillrinningsområdet är ca 1,7 km² och avrinningen är beräknad till ca 7,1 l/s (220 000 m³/år, fig. 28). Området utgörs idag av delvis uppodlad mark (fig. 29).

Alternativ 2

Väster om Tingstäde träsk finns ett brett och djupt dike som leder bort mycket vatten från de stora torvmarkerna tillhörande Martebomyr väster om Tingsstäde träsk (area 43 km² och medelflöde 173 l/s, fig. 28). Diket mynnar senare i Ireån som rinner ut i havet vid Ireviken. De utdikade torvmarkerna Martebomyr och Elingshemsmyr var före den extensiva utdikningen under 1800- och 1900-talen Gotlands största myr och sjökomplex (34 km² år 1880). I dag saknas i princip vattenspeglar i området. Diket skär ned genom det svallade materialet och är som mest ca 10 m djupt där det går genom strandvallen (fig. 30, se stjärna 2 i fig. 28). Här anser vi att det finns goda möjligheter att infiltrera detta vatten eller på något sätt magasinera och fördröja flödet för att kunna tillgodogöra sig delar av det som dricksvatten. Diket är en del av ett



Figur 28. Jordartskarta över Tingstade träskets närområde med höjddata i bakgrunden. Rosa streckad polygon motsvarar vattenskyddsområdets yttre gräns. Blå streckade linjer är tillrinningsområden som diskuteras i texten. De markerade stjärnorna är de områden lämpliga för infiltration som diskuteras i texten, punkterna symboliserar vattentäcksbrunnarna.

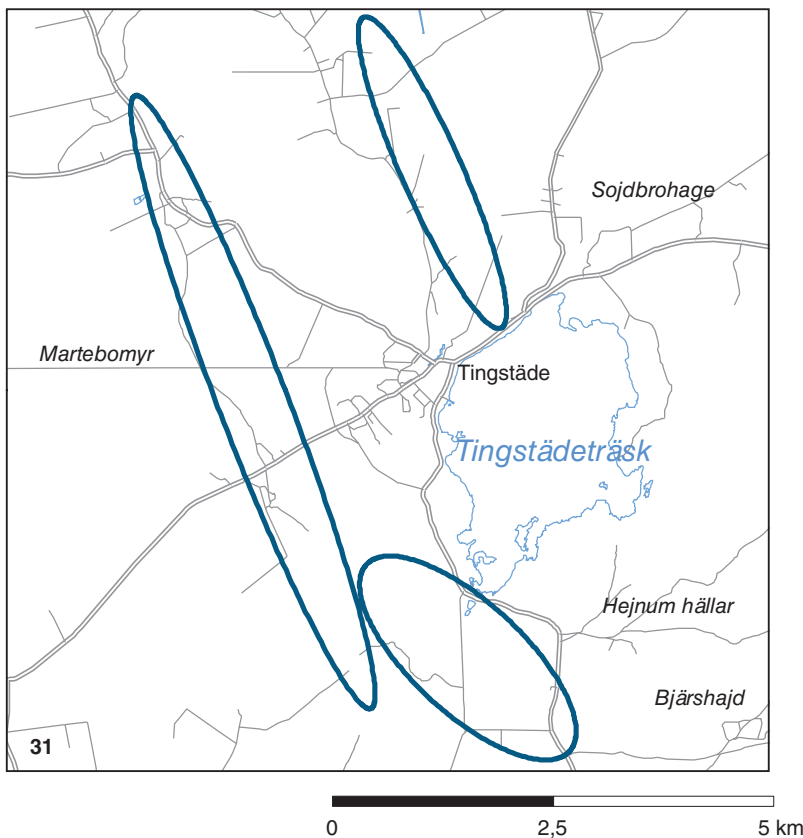


Figur 29. Foto på dike och uppodlad mark i området precis väster om Tingstade träsk (stjärna 1 i fig. 28), ett av de områden som diskuteras i texten.

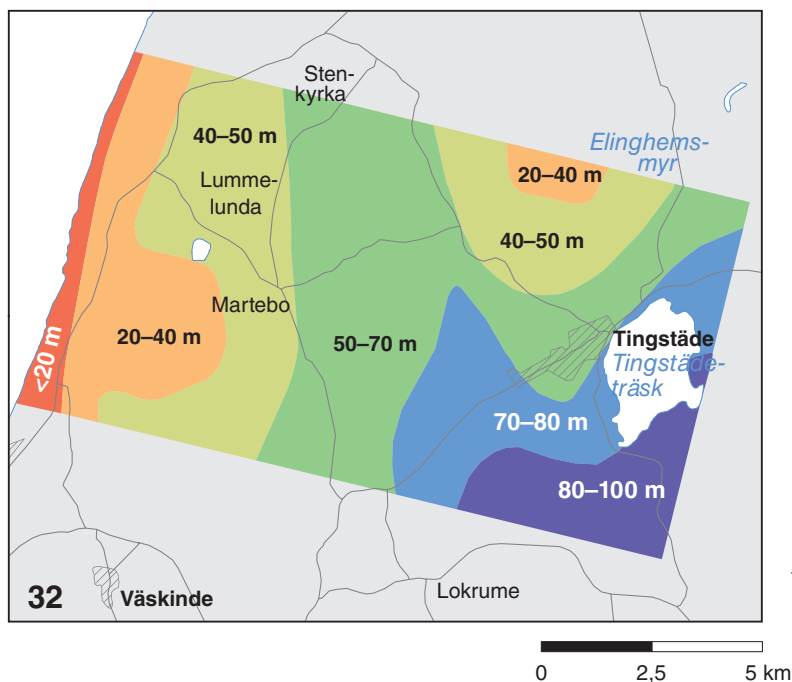
Foto: Peter Dahlqvist.



Figur 30. Diket från Martebomyr i den punkt där det är som djupast, se stjärna 2 i fig. 28.
Foto: Peter Dahqvist.



Figur 31. Områden där förutsättningarna för större grundvattenuttag ur berggrunden bör vara särskilt goda (Dahqvist m.fl. 2015).



Figur 32. Djupet till tolkad saltvat-
tengräns i området (fig. 39, Dahl-
qvist m.fl. 2015).

mycket stort dikningsföretag varför det dock kommer att krävas mycket arbete om man behöver förändra dikesföretaget. Kvaliteten på vattnet är också en viktig fråga att utreda då det är stora jordbruksarealer som avvattnas.

Alternativ 3

Det tredje alternativet är att skapa infiltrationsdammar (se stjärna 3 i fig. 28) och leda vatten hit antingen från Tingstade träsk eller från diket väster om området. Nya brunnar behövs även här. Denna del av sandavlagringarna har dessutom ett lägre påverkanstryck.

SGU utförde 2013 SkyTEM-undersökningar, en geofysisk metod som mäter resistiviteten i marken, i området och pekade ut tre områden i närheten av Tingstade träsk som områden där förutsättningarna för större grundvattenuttag ur berggrunden bör vara särskilt goda (fig. 31, Dahlqvist m.fl. 2015). Det södra området är knutet till Hejnumdalen och diskuteras inte mer här (mer information finns i bl.a. VIAK, 1974) De två andra områdena med nordvästlig-sydostlig utbredning är knutna till vad som tolkades som förkastningszoner som kan ha en högre grundvattenledande förmåga och därmed högre uttagskapacitet än den kringliggande berggrunden. De ovan diskuterade områdena (fig. 28) ligger inom denna zon vilket ytterligare talar till fördel för dem. Vid fortsatta studier i området kan det vara fördelaktigt att leta brunnslägen i dessa områden om man ska ha bergborrade brunnar. I området direkt norr och väster om Tingstade träsk ligger djupet på det saltpåverkade grundvattnet på 50–70 m djup (fig. 32, Dahlqvist m.fl. 2015).

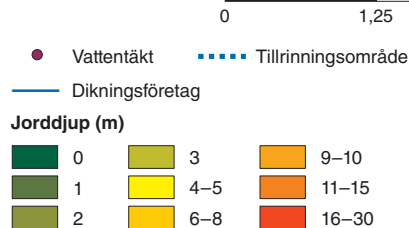
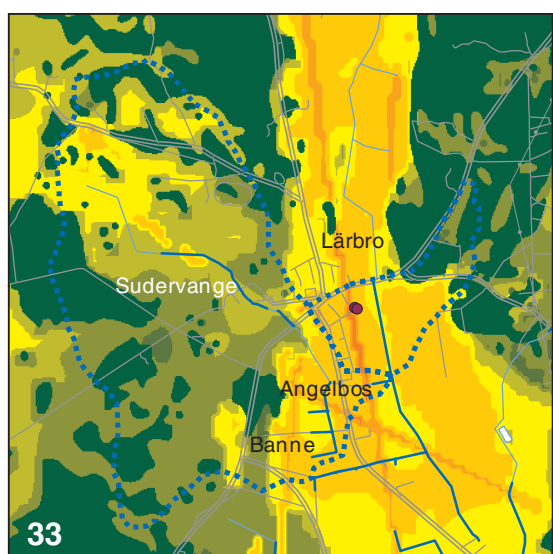
Förslag på handlingsplan för Tingstade

- Utför georadar och skruvborrningar vid de tre utpekade områdena för att studera möjligheterna till infiltration och magasinering.
- Utred möjligheterna att återskapa våtmarker söder och öster om Tingstade träsk för att jämna ut tillflödet till Tingstade träsk.

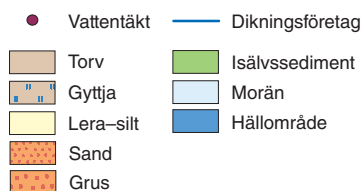
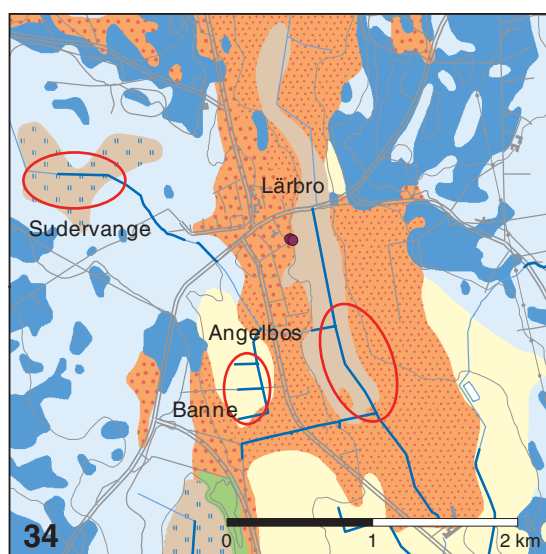
Lärbro

Vid vattentäkten i Lärbro finns goda förutsättningar för ökad grundvattenbildning om man ser till de mäktiga jordlager med god infiltrations- och magasineringskapacitet som finns i området. Dessutom finns möjligheter att dämna befintliga diken och återskapa äldre våtmarksområden eller om man så vill skapa konstgjorda magasin. Man bör utföra nya brunnar för att kunna tillgodogöra sig den ökade grundvattenbildningen.

Lärbro vattentäkt ligger i en nordvästlig dalgång och består av två grävda brunnar som under åren 2013–2015 hade ett medeluttag på ca 40 000 m³/år. Ett äldre (1980) vattenskyddsområde finns för täkten, tyvärr har vi inte lyckats lokalisera det underlag som ligger till grund för skyddsområdets avgränsningar. Provpumpningsresultat från 1950-talet visar att ett uttag på 75 m³/dygn gav en avsänkning på ca 1 m i uttagsbrunnen och endast en obetydlig påverkan i observationsrören (VIAK 1957). Berggrunden består av kalksten och området har, med gotländska mått sett stora jorddjup (fig. 33) och består av en blandning av sand, torv och lera (fig. 34). En anledning till de stora jorddjupen är en sprickzon som finns i berggrunden som underlättat tidigare erosion. Vattentäkten ligger nära ytvattendelaren vilket gör att tillrinningen till brunnarna är begränsad. Med nya brunnslägen kan vattentillgången troligen förbättras. Det finns två diken i närheten som skulle gå att dämna lite längre söderut för att på så sätt skapa en våtmark (fig. 33). Tillrinningen till detta våtmarksläge är ca 37 l/s (fig. 34). Det finns även en naturlig sänka där det idag finns torv och även sandavlagringar som utgör lämpliga infiltrationsområden (fig. 34). I det utdikade området i väster, som består av lera, skulle man kunna anlägga ett magasin med tät



Figur 33. Jorddjupskarta över närområdet till vattentäkten i Lärbro. Streckade blå linjer är tillrinningsområden för de två diken som omnämns i texten.



Figur 34. Jordartskarta över närområdet till vattentäkten i Lärbro. Röda ovaler markerar hypotetiska våtmarkslägen.

botten för periodvis påfyllning av våtmarken och infiltrationsområdet i väster. Detsamma gäller för området väster om Lärbro där det finns utdikade torvmarker med magasineringmöjligheter. Vi har inte studerat förutsättningarna norr om Lärbro men en översiktlig bedömning är att liknande förutsättningar finns även här.

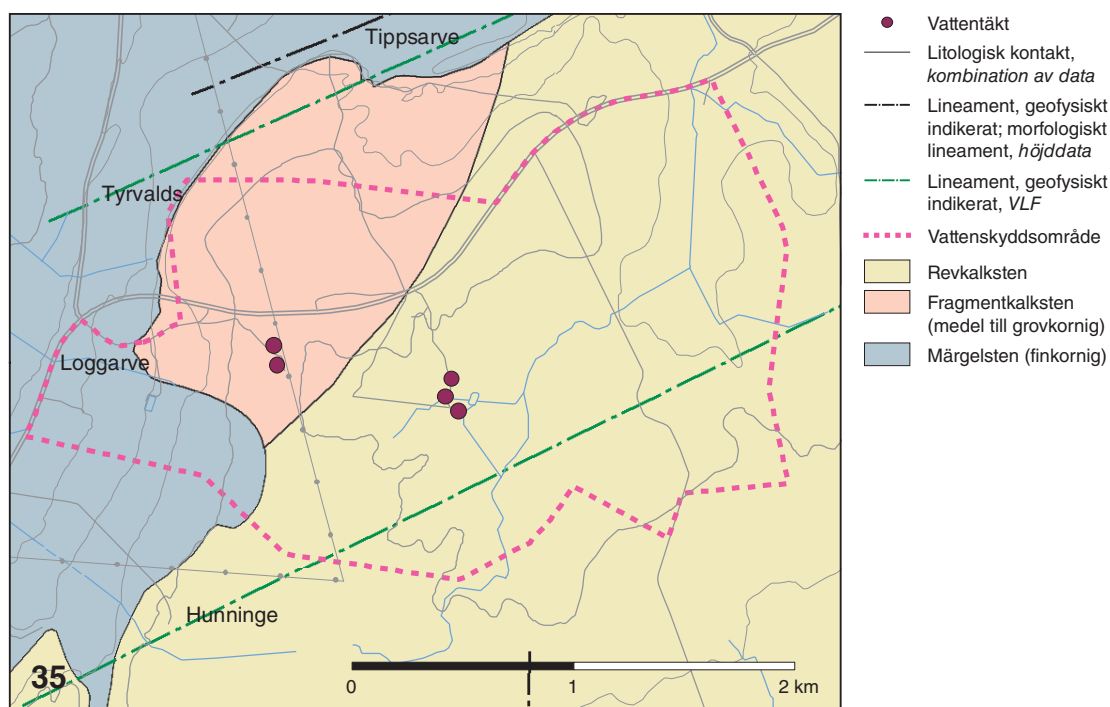
SGU utförde 2015 SkyTEM-undersökningar, en geofysisk metod som mäter resistiviteten i marken, i området. SGU kommer att utföra verifieringsborrningar och markmätningar i området under hösten–vintern 2016 och resultaten från dessa kommer redovisas i rapportform under 2017.

Förslag på handlingsplan för Lärbro

- Avvakta SkyTEM-rapport (2017).
- Lägg in data från utredningar i en geologisk och hydrogeologisk modell(VIAK 1957).
- Utför georadarmätningar och skruvborrningar i närområdet.
- Överväg översyn av Vattenskyddsområdet.

Klinte–Loggarve

Vid vattentäkten i Klinte–Loggarve finns det förutsättningar för ökad grundvattenbildning både om man ser till möjligheter att dämna befintliga diken och återskapa äldre våtmarksområden och om man vill skapa konstgjorda magasin. Det är dock troligt att det behövs nya brunnslägen för att tillgodogöra sig den ökade grundvattenbildningen.



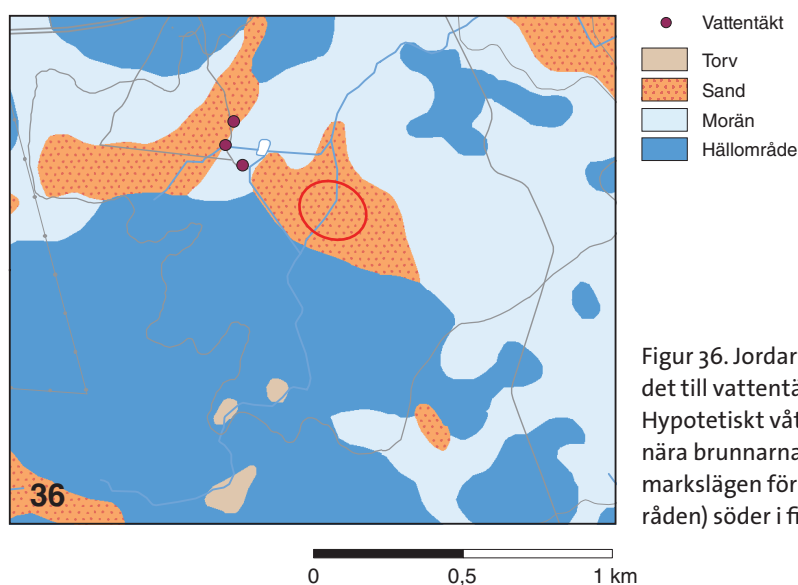
Figur 35. Berggrundskarta över närområdet till vattentäkten i Klinte–Loggarve. Den rosa polygonen visar den yttre gränsen för vattenskyddsområdet. Grön linje visar tolkade svaghetszoner.

Vattentäkten, som består av fem bergborrade brunnar mellan 50 och 62 m djupa, har ett medeluttag på ca 130 m³/dygn (2013–2015). För vattentäkten ska det finnas utredningar till vattendomsansökan (VA 122/72, tillståndsgivet medeluttag på 700 m³/dygn, maximalt 800 m³/dygn dock maximalt 250 000 m³/år) samt vattenskyddsområde från 1979 (fig. 35). Tyvärr har underlagen till dessa beslut inte hittats under projektets gång. I en utredning från 1964 (VIAK 1964) finns data på en grundvattenförsedd damm som utfördes i den västra delen av vattenskyddsområdet. Dammen hade en volym på ca 9 000 m³ och uttaget av jord var ca 2 250 m³ och berg ca 3 580 m³. Enligt utredningen tog man under högsommarperioden 500 m³/dygn utan problem vilket visar på en bra tillrinning även sommartid. I närheten fanns även borrhade brunnar och en skacktbrunn men de verkar vara nedlagda idag.

Berggrunden (fig. 35) består till största delen av revkalksten med inslag av fragmentkalksten och mangelsten. Jordarterna består till stor del av svallsand, stora delar av de blå områdena i jordartskartan är inte ren håll utan består av tunna sandiga jordlager på håll (fig. 36). Jorddjupet är enligt SGUs uppgifter mindre än fem meter i hela närområdet. Markanvändningen består till största del av skogsmark, i huvudsak tallskog.

I SGUs brunnarsarkiv finns intressanta data från en brunn några hundra meter väster om de tre vattentäktbrunnarna (fig. 36). Brunnen ger bra med vatten på ca 20 m djup, och enligt brunnsprotokollet gav den dessutom så mycket vatten i den uppspruckna kalkstenen på 2–5 m djup att man var tvungen att skärma av detta vattenflöde med foderrör då man inte ville ha in ytligt grundvatten i brunnen. Detta stämmer väl överens med att man vid senaste användandet haft bra ytligt tillflöde till dammen i väster som diskuterades ovan.

Vi har valt att fokusera på de tre brunnarna i öster då förutsättningarna är bäst där. Det finns en möjlighet till ökad grundvattenbildning genom våtmarksanläggning i området, dock är det osäkert hur mycket vatten som kan komma befintliga brunnar tillgodo. Modellerat ytvattenflöden från bäckar och diken baserat på årsmedelavrinning och avgränsade tillrinningsområden ger ett medelflöde på ca 36 l/s (ca 1,2 miljoner m³/år) fördelat på ca 30 l/s från bäckarna söderifrån och ca 6 l/s från bäcken västerifrån (fig. 36). Delar av detta skulle kunna ledas till en anlagd våtmark i närområdet (fig. 36). Strax sydost om brunnarna finns ett område som idag är



Figur 36. Jordartskarta över närområdet till vattentäkten i Klinte-Loggarve. Hypotetiskt våtmarksläge (röd oval) nära brunnarna samt tre möjliga våtmarkslägen för magasinering (torvområden) söder i figuren.



Figur 37. Den mindre damm som finns idag, strax öster om de tre brunnarna. Foto: Peter Dahlgvist.

uppodlat men som tidigare troligen utgjort ett fuktigt område. Man kan i södra delen av området se en del vass och ag och det verkar vara finkornigare jord här. Det dike som går i väst–östlig riktning mellan två av brunnarna var uttorkat vid fältbesöket i maj 2016 men i det som kommer söderifrån fanns det vatten. Dikena kan ledas om så att allt vatten går mot brunnarna och man kan antingen göra en större damm på platsen där det idag finns en liten damm (fig. 37) men även låta området som nu odlas återgå till fuktigt område och eventuellt sätta nya brunnar nedströms detta område eller i anslutning till den svaghetszon som indikeras söder om detta område (fig. 35). Det bör även finnas möjligheter att dämna diket från väster tidigare så att det infiltrerar i sanden strax väster om brunnarna. Upströms diket (ca 1 km) finns tre mindre våtmarksområden som är relativt igenvuxna med ag (fig. 36) där man möjligen kan dämna något eller rentav skapa vattenytor för att skapa magasinering när flödena är som störst.

Förslag på handlingsplan för Klinte–Loggarve

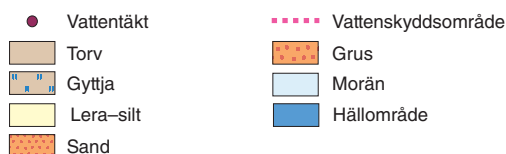
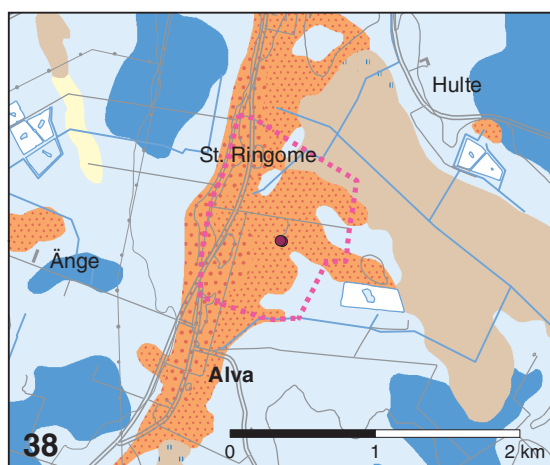
- Utför georadar och skruvborrningar i området kring de östra brunnarna.
- Dämm det västra diket för att se om och hur detta påverkar de befintliga brunnarna.
- Se över vattenskyddsområdet som är gammalt.
- Eventuellt se över den gamla grundvattendammen och de gamla brunnarna i västra delen av vattenskyddsområdet. Även andra nedlagda brunnar förekommer i utredningsmaterialet, data från dessa kan användas för framtida arbete.

Vattentäkter där det kan finnas förutsättningar för att öka grundvattenbildningen genom våtmarksanläggande eller infiltrationsanläggningar

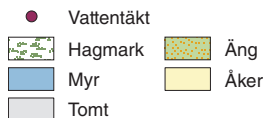
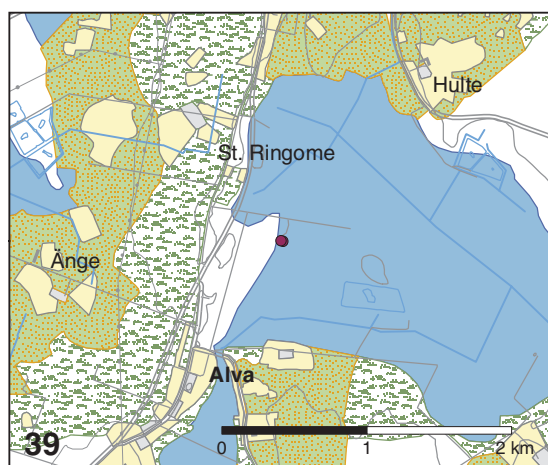
Vattentäkter där vi anser att det delvis finns förutsättningar för att öka grundvattenbildningen rangordnas inte inbördes utan presenteras kort nedan i bokstavsordning.

Alva

Vattentäkten vid Alva består av två bergborrade brunnar med ett djup på ca 20 m. Medeluttaget för 2013–2015 var 52 000 m³/år. Det finns ett tillstånd kopplat till vattentäkten (VA 9/82) och ett äldre vattenskyddsområde från 1979 (fig. 38). Vattentäkten har varit avstängd ett antal år men återöppnades under 2016. Berggrunden vid vattentäkten består av mägerl och jordlagren av svallsand samt, norr och öster om tækten, stora torvmarker (fig. 38). Vattentækten ligger på en höjd och ytvattendelare och mängden tillgängligt ytvatten är rätt liten. Det finns dessutom ett antal dammar i närområdet som redan nu använder stora delar av det överskottsytvatten som finns i området. Enligt skattläggningskartan från 1700-talet bör det dock gå att dämna diken för att återskapa en stor våtmark (fig. 39). Mycket talar för att stora delar av det som idag kallas Alvmyr hade en vattenspegel så sent som på 1800-talet. Ett modellerat tillrinningsområde på ca 0,4 km² ger en årlig avrinning på ca 2,9 l/s (95 000 m³/år). Om man återför Alvmyr till dess forna utbredning finns det stora möjligheter att vattnet kommer grundvattentækten tillgodo. En sak som kan försvåra möjligheterna för infiltration är att berggrunden består av mägerl vid vattentækterna, detta måste utredas först och främst.



Figur 38. Jordartskarta över närområdet till vattentækten i Alva. Rosa polygon visar yttre gränsen för vattenskyddsområde.

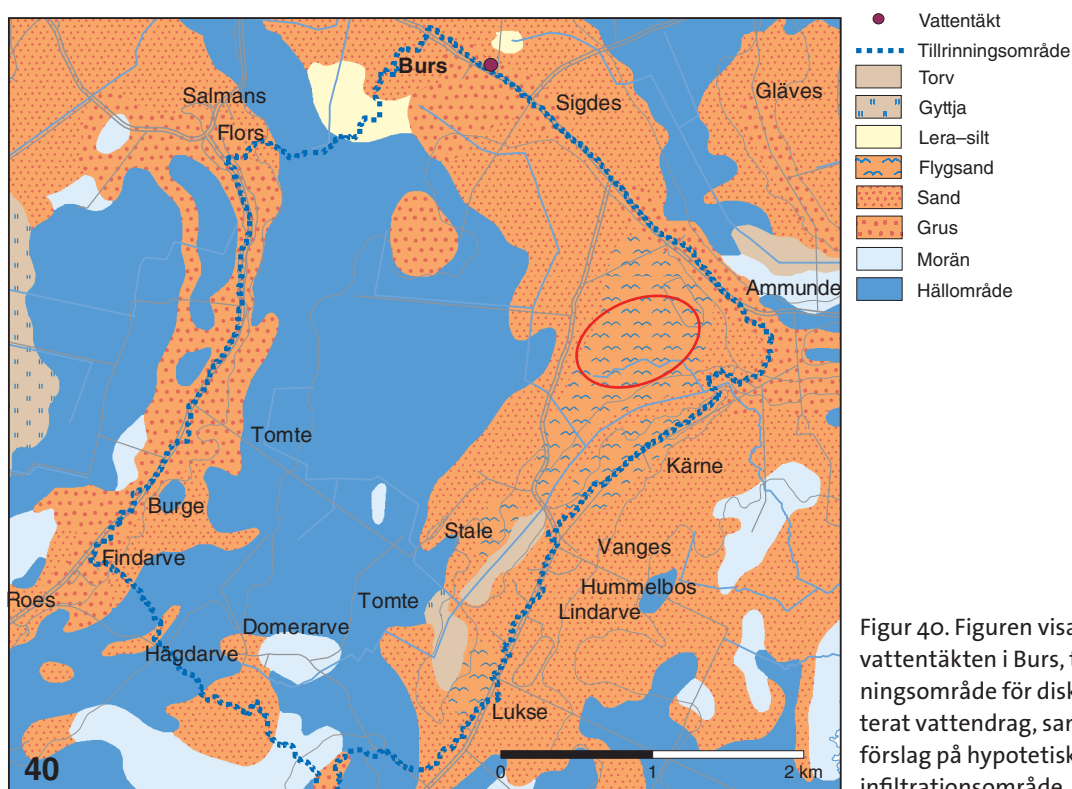


Figur 39. Skattläggningskarta från 1700-talet över närområdet till vattentækten i Alva.

Burs

Vattentäkten vid Burs består av en grävd brunn i den södra delen av samhället. Ett vattenskyddsområde från 2015 finns för vattentäkten och därmed även färskt utredningsmaterial. Brunnen är ca 3,5 m djup och grundvattenytan ligger mellan på 2–2,5 m djup från marknivån. Uttagen är små (medel 2013–2015: 850 m³/år) och tillrinningsområdet litet. Området är lämpligt ur infiltrationssynpunkt och det finns ytvatten i form av ett dike strax öster om brunnen. Brunnens lokalisering, nära bebyggelse på en tomt, gör att området trots det får anses som olämpligt för infiltration av ytvatten. Möjligen skulle man kunna tillgodogöra sig en del vatten genom våtmark eller meandring av ytvattendraget men det finns ont om plats.

Om man ska se över möjligheterna i närheten av Burs bör man titta på förutsättningarna söderut i de sandavlagringar som där bildar mäktiga jordlager (fig. 40). Det finns goda förutsättningar för infiltration i området. Tillrinningsområdet och därmed även flödet är större här än uppe vid Burs. I anslutning till området finns även ett antal brunnar med bra uttagskapacitet i förhållande till ytan. Området består av flygsand och strandvallar (fig. 40), och har mestadels skogsbevuxen mark med en smal remsa med uppodlad mark i de södra delarna. Området är relativt orört och man skulle kunna skapa ett antal större dammar i skogsområdet. Frågan är hur man ska få hit tillräckligt med ytvatten. Det man först bör göra är att täppa till det dike som går igenom denna del av avlagringarna (fig. 40), dock är mängden vatten troligen något låg. Det finns även ett större dike, som avvattnar totalt ca 12 km² och har en årlig medelvattenföring på 82 l/s. Om man dämmer diket där det går parallellt med



Figur 40. Figuren visar vattentäkten i Burs, tillrinningsområde för diskuterat vattendrag, samt förslag på hypotetiskt infiltrationsområde.

strandvallen kan man eventuellt leda vattnet norrut till dammar för infiltration och ha ett brunnsgalleri som tar vara på vattnet.

Ett alternativ kan vara att inducera vatten från dammar genom brunnar i strandvallsavlagringen, kanske i anslutning till området där diket skär igenom strandvallen i den östra delen av området (fig. 40). Idag ligger det en damm här som får sitt vatten från diket. Det finns även två nygrävda dammar och en husbehovstäkt i den östra delen av svallsanden.

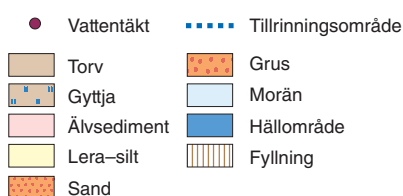
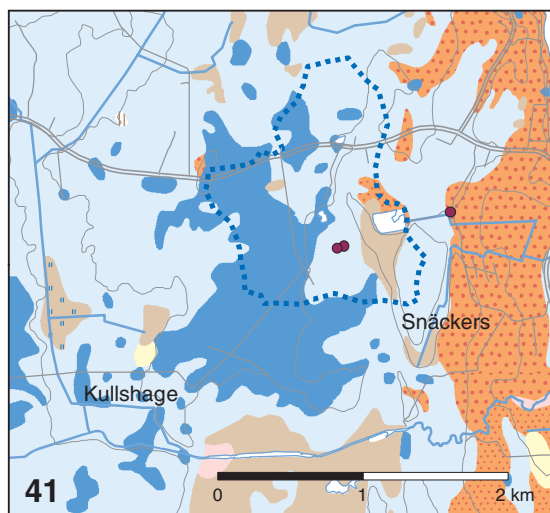
SGU utförde under år 2015 SkyTEM-undersökningar, en geofysisk metod som mäter resistiviteten i marken, i området. Preliminära tolkningar av data från det i figur 40 inringade området visar på en mäktighet på jordlagren på 5–10 m men det kan vara mäktigare. De översta 2–5 m (något mer i strandvallen) är torra vilket ger en mättad zon på 5–10 m. SGU har utfört verifieringsborrningar och markmätningar i området under hösten och vintern 2016 och resultaten från dessa kommer redovisas i rapportform 2017.

Fårö (Ullahau & Avanäs)

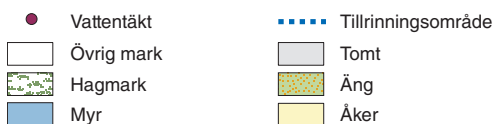
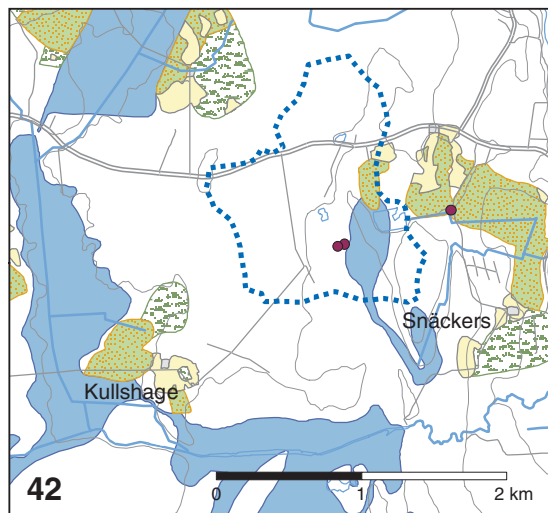
Vattentäkten vid Ullahau består av sju brunnar som tar grundvatten från en akvifer i jordlagren. Den möjlighet som finns är klassisk bassänginfiltration i sand- och grusavlagringarna i närområdet. Det närmsta ytvattnet är Ajketräsk som är en liten sjö med ett tillrinningsområde på 7,4 km² och ett beräknat medelflöde på 53 l/s. Teoretiskt skulle man kunna höja vattenståndet i sjön något och magasinera vatten där för att vid behov infiltrera i brunnarnas tillrinningsområde. Den omättade zonen är endast några meter mäktig vid brunnarna men det finns områden på östra Fårö med 20–25 m mäktiga sandlager. Dock pekar ett antal borrningar samt SkyTEM undersökningar (Dahlqvist m.fl. 2015) på att det finns gamla avlagringar av torv inlagrat i vissa områden som gör att vattenkvaliteten kan försämrats. Dessa kvalitetsproblem är något som funnits i ett flertal grävda brunnar, framförallt vid Sudersand (Bergström 1987). Möjligen skulle kvaliteten på vattnet kunna höjas något, det viktiga är i så fall att man lyckas lokalisera områden som saknar inlagrad torv. Områden med respektive utan torv kan gå att lokalisera med hjälp av de SkyTEM-data som finns över området. SGU utförde 2013 SkyTEM-undersökningar, en geofysisk metod som mäter resistiviteten i marken, i området. Data har bearbetats redovisats i Dahlqvist m.fl. (2015) och som ett examensarbete (Thulin-Olander 2015). Dahlqvist m.fl. (2015) visar på områden med hög resistivitet i de översta jordlagren på Avanäs, något som kan tolkas som att här finns en något mäktigare omättad zon vilket gör dem lämpligare för infiltration. Det rör sig dels om området vid Ullahau och dels ett område längre sydost mot Ava. Det senare området pekades ut i Dahlqvist m.fl. (2015) samt Thulin-Olander (2015) som speciellt lämpligt för större grundvattenuttag ur bergakviferen. Under 2016 har Region Gotland anlagt en bergvattentäkt i detta område. Vattentäkten verkar lämplig för ett uthålligt uttag om åtminstone 6 m³/h vilket är tillräckligt för att tillgodose den kommunala vattenförsörjningen på Fårö. Under tillståndsprocessen för denna vattentäkt kan det eventuellt framkomma data som gör att man kan diskutera konstgjord infiltration även här. Dock är avståndet från dessa brunnar till närmsta ytvatten 4 km vilket nog får anses som alltför långt.

Kapellshamn

Vattentäkten vid Kappelshamn består av två nyborrade (15–23 m djupa) bergbrunnar som ligger strax väster om samhället och de vattentäktsbrunnar man tidigare använt. Jordarterna består av morän men strax väster om brunnarna finns torv, vilket visar att det tidigare har varit fuktig mark här (fig. 41). Från brunnarna tar man i snitt 15 000 m³/år (2013–2015). Under 2016 har dock vattentäkten knappt varit i bruk då det varit dåligt med vatten. Anledningen till att man gjorde nya brunnar var kvalitetsproblem i de gamla. Region Gotland höll under 2016 på att samråda om ett nytt vattenskyddsområde för vattentäkten. I brunnarnas närhet finns även två bergtäkter som är



Figur 41. Jordartskarta över närområdet för vattentäkten i Kapellshamn. Den streckade linjen visar tillrinningsområdet för det dike som avvattnar vattentäktens närområde.



Figur 42. Skatteläggningsskarta från 1700-talet över vattentäktens närområde.

delvis vattenfyllda. SGU har ingen uppgift om bergtäkterna och eventuell grundvattenbortledning. Dock kan man tänka sig att man när bergtäkten är slutförd kan använda sig av kalkbrotten som magasin och antingen ta vatten direkt från dem eller via brunnar i närheten.

Enligt skatteläggningsskattan (fig. 42) bör det gå att dämra det dike som avvattnar området direkt öster om brunnarna och på så sätt skapa en våtmark. Tillrinningsområdet till detta dike är ca 1,6 km² och har en beräknad årlig avrinning på ca 6,3 l/s (fig. 41).

Söder om vattentäkten finns det ett dike nedsprängt i kalkberggrunden vilket har avvattnat stora områden som tidigare har varit våtmarker. Om man skulle dämra upp dessa områden får man stora mängder vatten magasinerat och delar skulle man kunna leda över mot vattentäkten.

Klinte–Follingbo

Det bör finnas potential att utnyttja det ytvattenmagasin i form av en nedlagd täkt för att öka grundvattenbildningen och uttagen i området. Vattentäkten har fyra bergborrade brunnar som ligger samlade med ca 500 m radie. Medeluttaget för 2013–2015 var ca 210 000 m³/år. Brunnarna är ca 65 m djupa och ligger i de södra delarna av vattenskyddsområdet Visby i den inre skyddszonen. I utredningsmaterialet för vattenskyddsområdet kan man läsa ”Follingbotäkten levererar i storleksordningen 300 000 m³/år (ca 10 l/s). Utförda undersökningar (VIAK AB 1980) har visat att påverkansområdet är stort och har en elliptisk form med längsta axeln i nordnordostlig–sydsvästlig riktning. Längden på grundvattenmagasinet bedömdes till åtminstone 2 km och bredden till ca 1,5 km. Med utgångspunkt från den årliga nettonederbörden (ca 150 mm) över området krävs ett tillrinningsområde om ca 2,5 km² för att balansera den uppumpade vattenmängden”.



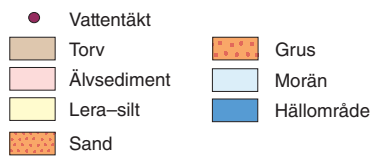
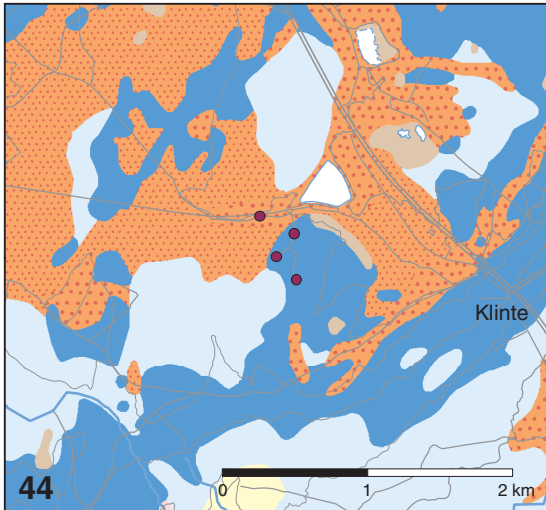
Figur 43. Foto på täktsjön tagen från västra sidan. Foto: Peter Dahlqvist.

Brunnarna ligger nära en ytvattendelare och det enda ytvattnet i närheten är ett vattenfyllt nedlagt stenbrott (fig. 43). Möjligen får täktsjön vatten via lagringsplan i kalkstenen från ett område som sträcker sig förbi ytvattendelaren, vilket gör att den i så fall kan ha ett större tillrinningsområde.

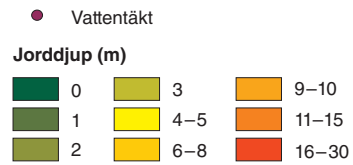
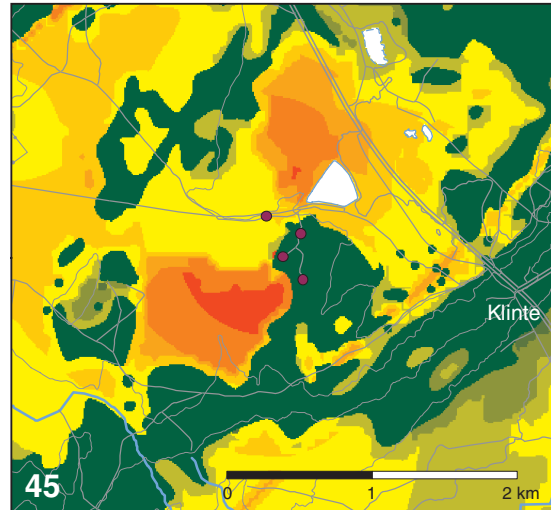
Täktsjön verkar inte ha någon ytavrinning. Enligt Region Gotland (Aaw 2016) har tillgången minskat i brunnarna med åren, något som eventuellt kan kopplas till utförandet av den nya vägen nordost om vattentäkten. Det kan även ha att göra med att brunnarna blivit gamla och satts igen. Arean på täktsjön är ca 65 000 m². Om vi förutsätter att medeldjupet är cirka tre meter ger det en volym på ca 200 000 m³ som magasineras i det gamla kalkbrottet. Då brunnarnas kapacitet minskat med åren kan man med fördel utreda möjligheterna att placera några brunnar i närheten av täktsjön och se över möjligheterna att öka brunnarnas kapacitet genom detta. Det finns även relativt stora arealer med infiltrationsbenägna jordar i området (fig. 44) samt stora mäktigheter i jordlagren (fig. 45) kring täktsjön, men jorddjupsuppgifterna är få och även stratigrafin i jordlagren är dåligt känd.

SGU utförde under år 2013 SkyTEM-undersökningar, en geofysisk metod som mäter resistiviteten i marken, i området. Data har bearbetats redovisats i rapportform (Dahlqvist m.fl. 2015). SkyTEM-data visar på liknande förutsättningar för grundvattenuttag inom stora delar av närområdet. Risk finns för ett saltpåverkat grundvatten på ca 75–80 m djup.

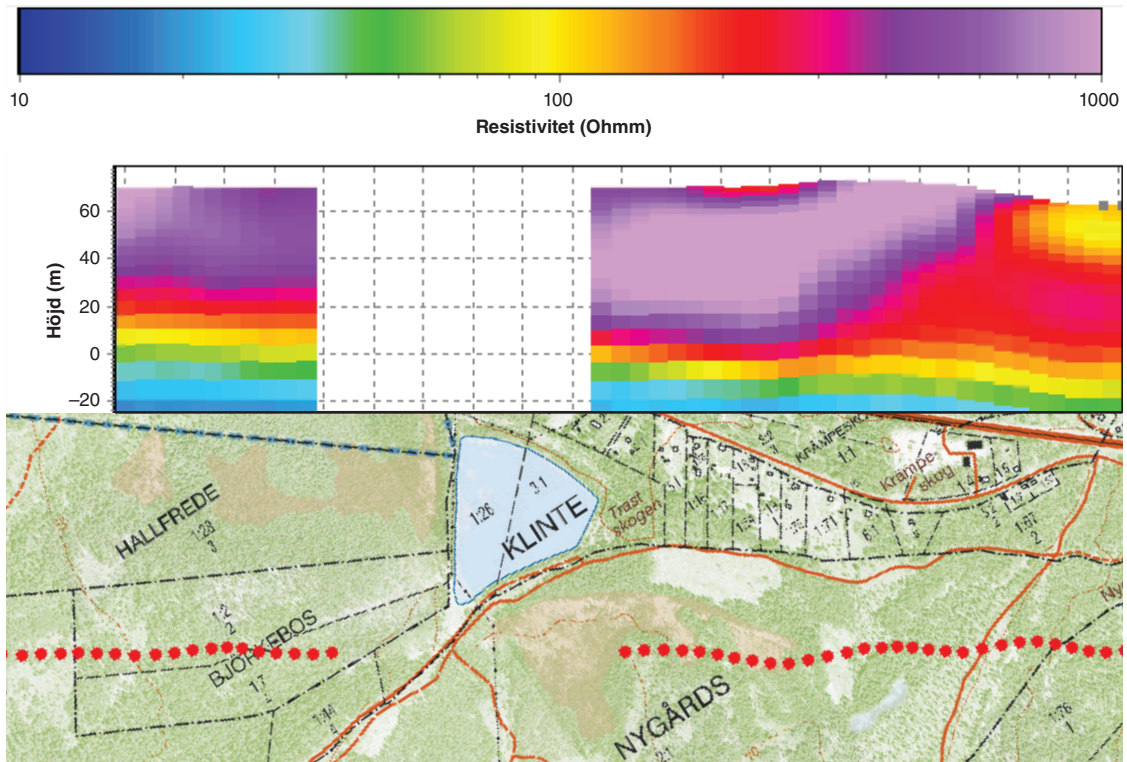
Tyvärn var delar av insamlade SkyTEM-data störda precis vid vattentäkten vilket gör att det saknas bearbetade data härifrån (se avbrott i profilen i fig. 46). Dock kan man se en antydning till annorlunda uppbyggnad västnordväst om detta område mot det i östnordöst. I princip kan man säga att de lila intervallen motsvarar sämre grundvattentillgång, och att man bör ha brunnarna i det som är rött till orangegult för att få större mängder grundvatten. Det verkar finnas två huvudsakliga tillrinningsnivåer till brunnarna, en övre och en undre, åtskilda av ett tätande intervall. De stora skillnaderna i geologisk uppbyggnad sker dock något mer mot östsydost. Här är förutsättningarna väldigt annorlunda (fig. 46), och man kan se övergången från revkalkstenen (lila) till vad som bedöms vara kalksten från revflanken (revets utkanter, gulorange) med relativt goda förutsättningar för grundvattenuttag. Det är ofta i randzonen till den mycket hårda revkalkstenen som det finns goda förutsättningar för grundvattenuttag. Det är värt att undersöka hur mycket en brunnsborrning i detta område kan ge.



Figur 44. Jordartskarta över vattentäktens närområde.



Figur 45. Jorddjupskarta över vattentäktens närområde.

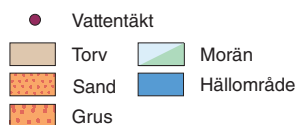
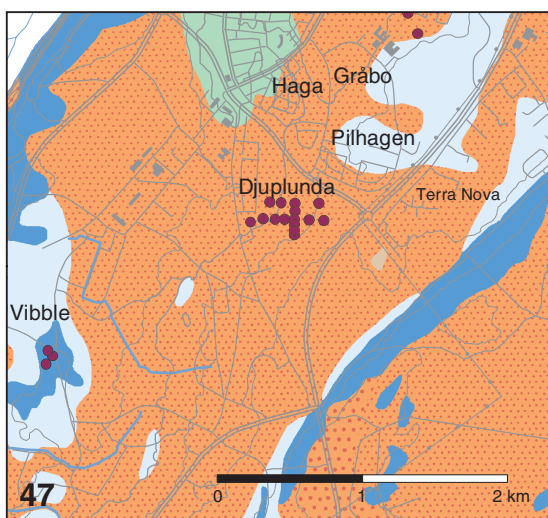


Figur 46. SkyTEM-profil från vattentäktens närområde (profilen motsvarar mätningar längs röd streckad linje). I profilen visas markens resistivitet.

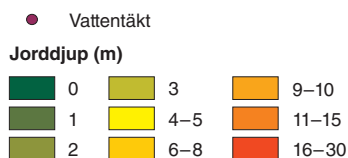
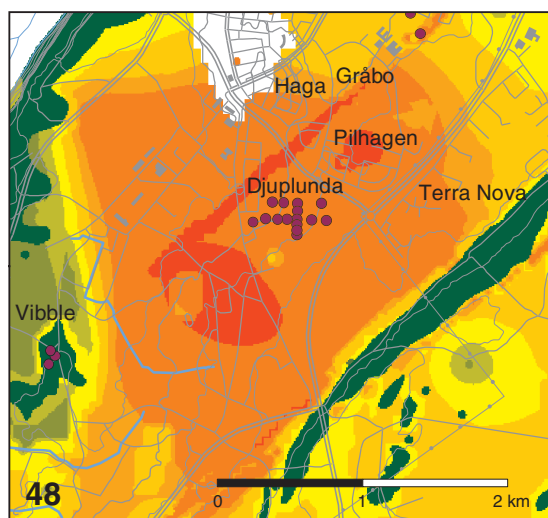
Langs Hage

Vattentäkten vid Langs Hage består av 15 brunnar (bergborrade till mellan 46–68 m djup) som ligger inom Visby vattenskyddsområde. Från Langs hage tar Region Gotland 1.25 miljoner m³/år vilket gör vattentäkten till den största på ön. Enligt Carlstedt och Erlström (2004) är det troligt att huvuddelen av grundvattnet som pumpas upp vid Langs Hage nybildas i öster inom de öppna och starkt uppspruckna och karstvittrade hällytorna.

Det saknas ytvatten i närheten men vi har ändå valt att ta med vattentäkten som möjlig då de mäktiga sand- och gruslagren (fig. 47 & 48) har varit föremål för utredningar vid ett flertal tillfällen och en klassisk bassänginfiltration av ditpumpat vatten skulle kunna vara en möjlighet. Då bör man dock sätta grusfilterbrunnar istället. Enligt Jonas Aaw (2016) har man tidigare försökt infiltrera vatten från Klinte och Follingbo i Langs Hage. Man lyckades inte med detta då det blev översvämning nedströms (västerut) infiltrationen. Man fick med andra ord inte ner vattnet till bergmagasinet. Kanske är det så att det ligger ett relativt tätt skikt mellan sand-grus och berg i hela eller delar av området. En annan aspekt som pekar mot ett tätt lager är att nära brunnarna finns det ett område där man tidigare impregnerat trä förr och man har trots det aldrig hittat någon förorening i de bergborrade brunnarna (Aaw 2016). Området kring vattentäkten Langs Hage har undersökts vid olika tillfällen under de senaste decennierna vilket gör att det finns mycket data att sammanställa över området. Det man först bör göra är dock att utreda huruvida föroreningar från träimpregneringen finns kvar i området så att detta inte i framtiden förorenar vattentäkten vid Lang Hage ifall man vill göra undersökningsborrningar.



Figur 47. Jordartskarta över närområdet till vattentäkten Langs Hage.



Figur 48. Jorddjupskarta över närområdet till vattentäkten Langs Hage.

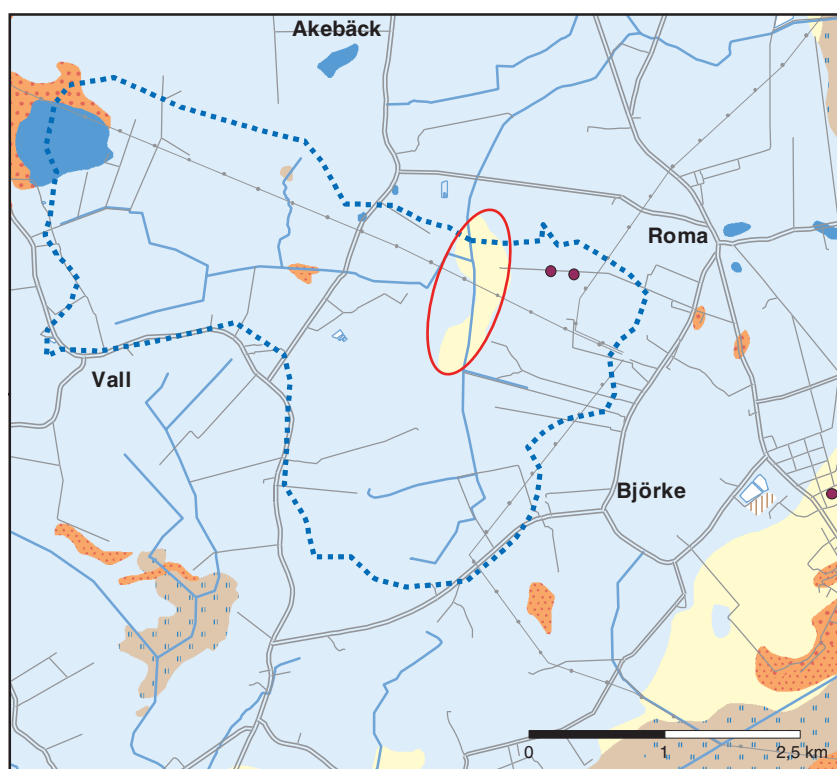
Martebo

Martebo vattentäkt är en liten vattentäkt med ett medeluttag på endast 1 500 m³/år (2013–2015). Vattentäkten består av en bergborrad brunn som är 48 m djup och jordlagren i närområdet utgörs av morän. Själva vattentäkten är lokaliserad i ett område som ligger lite högre än omgivningarna och saknar ytvatten i närheten. Dock finns det stora utdikade våtmarksområden i området kring vattentäkten. Dessa utdikade våtmarksområden ligger cirka fem meter lägre och ca 700–1 000 m från vattentäkten. Även om man skulle återskapa dessa våtmarker är det tveksamt om man skulle få en ökad grundvattenbildning som kan gynna Martebo vattentäkt.

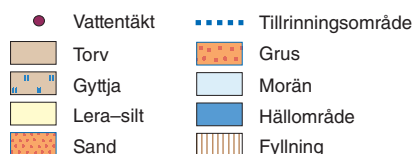
SGU utförde år 2013 SkyTEM-undersökningar, en geofysisk metod som mäter resistiviteten i marken, i området. Data har bearbetats redovisats i Dahlqvist m.fl. (2015). En översiktlig bedömning är att förutsättningarna för större grundvattenuttag från berggrunden i vattentäktens närområde bör vara något fördelaktigare västerut än österut, sett från vattentäktens läge. Enligt SkyTEM-data riskerar man att få ett saltpåverkat grundvatten vid ca 35–50 m djup varför eventuella nya brunnar bör understiga detta djup (se fig. 32).

Roma

Vattentäkten vid Roma består av tre bergborrade brunnar, varav en ligger nära samhället Roma (fig. 49) medan de andra två brunnarna, i texten kallade Busarvebrunnarna, ligger några hundra meter norr om samhället. Brunnen i Roma samhälle har vi bortsett från då den ligger dåligt till för anläggande av våtmarker, eftersom hela samhället ligger inom påverkansområdet. Det är



Figur 49. Figuren visar vattentäktens brunnarna vid Roma. Uppskattat tillrinningsområde för det dike som rinner strax öster om Busarvebrunnarna, samt möjligt område för potentiell våtmarksanläggning (röd oval). Underlaget är SGUs jordartskarta.



dock inte omöjligt att ökad grundvattenbildning för att stärka Busarvebrunnarna även kan öka uttagskapaciteten för denna brunn. Det pågår ett arbete med vattenskyddsområde för vattentäkterna i Roma, i underlaget (Sweco 2016) finns bland annat teknisk beskrivning, information från filmning av brunnar samt en grundvattenmodell.

De två Busarvebrunnarna har tillstånd (VA 2/91) för grundvattenuttag på i medeltal 300 m³/dygn och maximalt 500 m³/dygn. De senaste åren har man legat på ca 200 m³/dygn i medeltal. Brunnarna är 40 m (36 m öppet hål i kalksten) respektive 50 m (46 m öppet hål i kalksten). Den huvudsakliga grundvattenströmningen i bergakviferen sker enligt underlaget till vattenskyddsområdet från nordväst mot sydost. Baserat på en provpumpning av en av Busarvebrunnarna bedömdes grundvattenbildningen till ca 15 mm/år (VIAK 1991) till grundvattenmagasinet i berg. Grundvattnets transporthastighet under uttag i brunnarna har beräknats till cirka fem meter per dag. En anledning till den relativt låga bedömningen av grundvattenbildningen är att förekomst av täta ytjordarter samt dåligt vattenförande berglager i lagerföljden, minskar grundvattenbildningen (VIAK 1991). Det förekommer även artesiska brunnar i området, även detta pekar mot att brunnarna får sitt grundvatten från en sluten akvifer.

I området kring Roma finns det med gotländska mått mätt förhållandevis gott om ytvatten. Söder om och genom samhället rinner ett stort dike som senare blir Gothemsån. Diket avvattnar stora arealer som tidigare varit våtmarker och torvmarker. Det finns förutsättningar (tidigare hade sockerbruket vattendom på att ta vatten genom dämning) att dämna det stora diket men frågan är om bergbrunnarna kan tillgodogöra sig vattnet. Det ligger ett antal större slamdammar i samhällets östra utkant som idag används som bevattningsdammar. Man leder in och pumpar upp vatten från diket till närliggande dammar som har en vattennivå på ca 3–5 m över markytan.

De två brunnarna norr om samhället kan inte tillgodogöra sig vatten från åtgärder nere vid samhället. Dock finns förutsättningar även här uppe att göra mindre åtgärder för att kunna öka grundvattenbildningen. Brunnarna ligger i ett område som mestadels består av jordbruksmark och ett dike avleder vatten från området norrut, diket går senare ihop med det stora diket längre nedströms. Det finns möjlighet att skapa våtmark eller anlägga dammar strax väster om brunnarna i ett ler- och torvområde (fig. 49). En invallad bevattningsdamm som tar vatten från diket har skapats strax nedströms det möjliga läget för en våtmark eller damm (fig. 49, 50). Arealen på tillrinningsområdet är ca 13 km² och den beräknade medelvattenföringen vid den planerade våtmarken ca 100 l/s (ca 3 miljoner m³/år). Läget för våtmarken är förlagt i området med mäktigare ler- och torvlager (fig. 49).

SGU har haft diskussioner med Region Gotlands konsulter kring den grundvattenmodellering som upprättats och som har använts som stöd vid arbetet med framtagandet av förslag till vattenskyddsområde för Roma. Modelleringen har i stora stycken utgått från de slutsatser som drogs från den provpumpning som utfördes (VIAK 1991). Grundvattenbildningen har bedömts vara blygsam, ca 15 mm/år. Brunnarna har relativt stor kapacitet och bedömningen är att tillrinningsområdet i de djupare berglagren sträcker sig flera kilometer från brunnarna. Modellens utbredning sträcker sig ända bort till höjdområdena strax söder om Visby.

Vid samråden inför vattenskyddsarbetet framkom att det verkar finnas tillfällen då vattenkvaliteten i Romabrunnarna försämras radikalt. Vidare misstänker man att dessa perioder sammanfaller med perioder med höga flöden i ett närbeläget avvattningsdike. Eventuellt står diket i kontakt med slukhål i berggrunden vilket kan medföra en direkt kontakt med akviferen vid de tillfällen då det höga flödet når upp till slukhålens nivå. Detaljerna kring dessa fenomen är inte kända och den upprättade grundvattenmodellen har inte haft som syfte att försöka återge effekterna vid dessa tillfällen.

SGU har konstaterat att dämning av det dränerande diket (fig. 49) är möjligt men det finns

tecken på att det kan innebära viss negativ påverkan på vattentäkten vid Roma. Grundvattenbildningen skulle sannolikt öka något men fortfarande vara relativt begränsad, kanske t.o.m. i samma storleksordning som de angivna (15 mm/år). En dämning skulle möjligen leda till att man oftare når höga nivåer i det avvattande diket som då oftare skulle kunna leda till att vattenkvaliteten försämras genom kortslutning via de omnämnda slukhålerna. SGU har gjort bedömningen att det med befintliga dataunderlag inte är möjligt att försöka grundvattenmodellera sådana effekter inom ramen för aktuellt projekt.

SGU har förstått att det pågående vattenskyddsarbetet har varit föremål för diskussioner och att ytterligare en konsult har blivit anlitad för att komma med egna slutsatser kring brunnarnas funktion och tillrinning. Eventuellt kan deras slutsatser även komma att påverka bedömningen om lämpligheten att dämna upp ytavrinningen samt möjligheten att bedöma potentialen för ökad infiltration genom att upprätta en förnyad och utökad grundvattenmodell över området.

SGU utförde under år 2013 SkyTEM-undersökningar, en geofysisk metod som mäter resistiviteten i marken i nordvästra delen av brunnarnas tillrinningsområde. Data har bearbetats redovisats i Dahlqvist m.fl. (2015). Enligt dessa data är berggrunden relativt homogen ned till ca 50–60 m djup i det område som täcks av SkyTEM-data. På större djup än så riskerar man att få ett saltpåverkat grundvatten vid borrning. SkyTEM-underlaget kan med fördel användas i konsulternas geologiska modell.



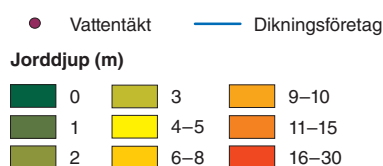
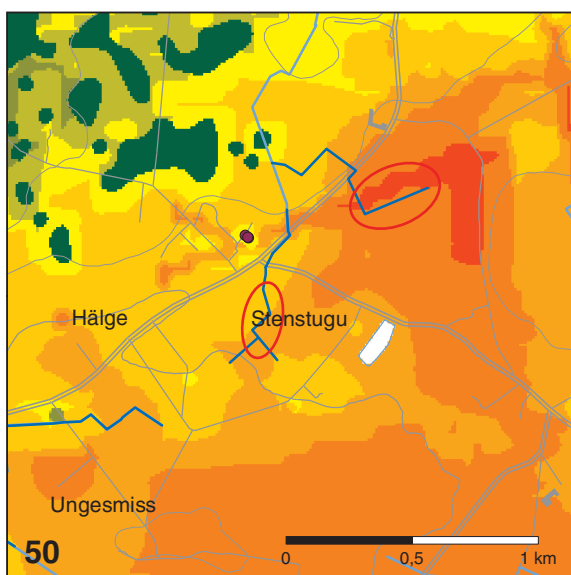
Figur 50. Område strax nedströms bevattningsdamm, ca 1 km nordväst om Busarvebrunnarna. Lägg märke till bevattningsanordningen i förgrunden. Vatten från diket kan pumpas upp och ledas antingen direkt till bevattningsspridare eller till bevattningsdammen. Foto: Peter Dahlqvist.

Stenkyrka–Licknatte

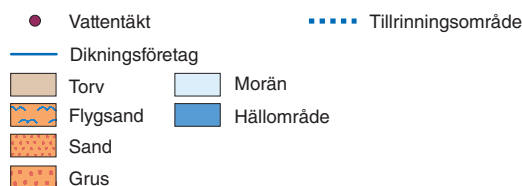
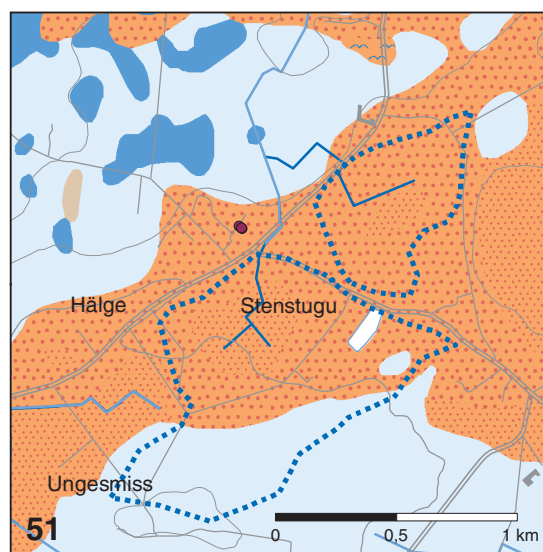
Vattentäkten Stenkyrka–Licknatte består av tre bergborrade brunnar med ett djup på 15–23 m. Uttaget ur brunnarna har varit igenomsnitt 5 000 m³/år under perioden 2013–2015. Brunnarna ligger i ett område med relativt mäktiga (fig. 51) svallsediment (fig. 52).

Det saknas större ytvattendrag i närområdet och tillrinningsområdet till brunnen är inte så stort. Vid en jämförelse med skattläggningskartan kan man se att det tidigare funnits våtmarksområden sydost om vattentäkten. Troligen har våtmarkerna kunnat upprätthållas pga. en uppdamningseffekt från den strandvall som vägen går på. De beräknade tillrinningsområdena (fig. 52) till de båda våtmarkslägena är 0,8 respektive 0,3 km² och avrinningen till dem ca 1,5 l/s (47 000 m³/år) respektive 0,5 l/s (16 000 m³/år). Om man skulle återskapa våtmarkerna sydost om vattentäkten är det möjligt och t.o.m. troligt att man kommer att öka grundvattenbildningen och därmed även kapaciteten i vattentäkten. Det finns dock en osäkerhet hur bostäder och vägen kommer klara sig vid anläggandet av en våtmark. Enligt jorddjupsmodellen finns de mäktigaste jordlagren och de bästa förutsättningarna för infiltration troligen i den nordliga av de två föreslagna våtmarksområdena (fig. 51). Det är troligt att man bör söka ett nytt brunnsläge, företrädesvis sydost eller norr om samhället.

SGU utförde 2015 SkyTEM-undersökningar, en geofysisk metod som mäter resistiviteten i marken, i området. Data bearbetades under 2016 och kommer att redovisas i rapportform 2017.



Figur 51. Jorddjupskarta över vattentäktens närområde. Röda ovaler symboliserar möjligt område för potentiell våtmarksanläggning.



Figur 52. Jordartskarta över vattentäktens närområde.

Vattentäkter där det saknas förutsättningar för att öka grundvattenbildningen genom våtmarksanläggande eller infiltrationsanläggningar

Vattentäkter där vi anser att det saknas förutsättningar för att öka grundvattenbildningen rangordnas inte inbördes utan presenteras kort nedan i bokstavsordning.

Furulund

- Vattentäkten ligger i ett grönområde i Visby.
- De två brunnarna 18 respektive 20 m djupa.
- Den huvudsakliga grundvattentransporten kommer från höjdområdena i öster (Carlstedt & Erlström 2004).
- Det finns mäktiga jordlager, framförallt svallsand i vattentäktens närområde.
- Ytvatten saknas i området.

Då vattentäkten är lokaliserad i stadsmiljö har vi valt att inte gå vidare med vattentäkten i detta projekt.

Lojsta

- Vattentäkten Lojsta består av en borrhållad brunn på 32 m.
- Vattentäkten har en vattendom (VA 23/82) och vattenskyddsområde.
- Medeluttaget under perioden 2013–2015 var 34 000 m³/år.
- Berggrunden består av kalksten och jorrdjupen kan vara uppemot 8 m mäktiga och består av både morän och svallsand.

Då det enda vattendrag som finns i närheten rinner i Kvie Källmyr som är ett naturreservat har vi valt att inte utreda vattentäkten och dess förutsättningar vidare.

Skogsholm

- Vattentäkten består av 4 brunnar (62–65 m djupa) och ligger i utkanten av Visby.
- Den huvudsakliga grundvattentransporten sker från höjdområdena i öster (Carlstedt & Erlström 2004).
- Det saknas mäktiga jordlager och ytvatten i vattentäktens närområde.

Då vattentäkten är lokaliserad i nära anslutning till Visby har vi valt att inte gå vidare med vattentäkten i detta projekt.

Tofta

1. Vattentäkten består av en bergborrad brunn.
2. Medeluttaget för år 2013–2015 var 110 000 m³/år.
3. Vattentäkten ligger i hållmark och saknar jordlager.
4. Vattentäkten har ett äldre vattenskyddsområde från 1973.
5. Ytvatten i tillräcklig mängd samt möjligheter för att magasinera eller infiltrera vatten saknas i vattentäktens närområde.

Träkumla

- Vattentäkten består av en äldre bergborrad brunn och ligger i moränmark inne i samhället Träkumla.
- Vattentäkten har ett årsmedel på 1 700 m³ (2013–2015).
- Vattentäkten har ett nyligen beslutat (2015) vattenskyddsområde som delvis överlappar med Visby vattenskyddsområde.
- Det saknas ytvatten i närheten.

Strax norr om vattentäkten finns det en del ytvatten i form av källsprång (Harkällan) som avvattnas till ett dike som eventuellt skulle kunna ledas om, men mängden tillgängligt vatten och det stora avståndet gör att vi valt att inte gå vidare med vattentäkten i denna rapport.

Västringe

- Vattentäkten som ligger i moränmark består av två bergborrade brunnar som är ca 30 m djupa.
- Vattentäkten har ett årligt (2013–2015) medeluttag på 6 500 m³.
- Vattentäkten har ett äldre vattenskyddsområde från 1982.
- Brunnarna ligger nära ytvattendelaren och det saknas tillräckligt med ytvatten i närområdet.

DISKUSSION

Projektet och resultaten har bidragit till att synliggöra möjligheterna för ökad grundvattenbildning vid vattentäkter på Gotland. Hittills har fokus på Gotland mestadels legat på bevattningsdammar och återskapande av fuktiga marker med tanke på biologisk mångfald eller att minska näringsbelastningen i Östersjön. Med denna rapport visas att det finns både behov och möjligheter att öka grundvattenbildningen genom infiltration och våtmarksanläggande.

I flera fall har SGU pekat på andra möjliga åtgärder istället för regelrätt anläggande av våtmarker, framförallt handlar det om olika typer av infiltrationsanläggningar. Dock förutsätter anläggandet av infiltrationsanläggningar att man har en god tillgång på ytvatten alternativt att man har kvarhållande funktioner i form av t.ex. våtmarker, där vatten kan magasineras inför perioder med lägre tillgång. I flera fall är även nya brunnslägen en förutsättning för att förslagen ska fungera optimalt. SGU har rekommenderat vilka geologiska undersökningar som skulle vara lämpliga som ett första steg om man vill undersöka ett specifikt område och kan bistå med vidare diskussioner kring dessa förslag.

En ovärderlig del i projektet visade sig vara platsbesök vid vattentäkterna. De slutsatser som man gjort vid skrivbordsbedömningarna visade sig ofta behöva justeras efter fältbesök. I flera fall har det visat sig vara svårt att få tag på äldre information rörande vattentäkterna. De data som finns i gamla rapporter har i flera av de fall vi lyckats lokalisera dem visat sig vara detaljerade och av stor vikt för slutresultatet. Det visar hur viktigt det är att länsstyrelser, konsulter, kommuner m.fl. tillsammans med SGU ser till att det utredningsarkiv som finns vid SGU är så komplett som möjligt.

SGU har utfört projektet med syfte att ta fram de geologiskt och hydrogeologiskt betingade förutsättningarna för anläggande av våtmarker med syfte att öka grundvattenbildningen och därmed stärka Regionens dricksvattenkapacitet. SGU har, förutom i ett fåtal fall, inte tagit hänsyn till motstående intressen och inte heller vägt in eventuella gynnsamma eller negativa bieffekter av de föreslagna åtgärderna. Det betyder att områden som pekats ut som gynnsamma, rent geologiskt eller hydrologiskt, kan vara direkt olämpliga av en annan orsak. Därför är det viktigt att resultaten som rapporteras här och det beslutsunderlag som det kan sägas utgöra används med förnuft och försiktighet. Dessutom kommer dikningsföretag att bli

påverkade på vissa platser vilket kan kräva förhandlingar i domstol, något som är både tidsödande och kostsamt.

SGU har för avsikt att under 2017 och 2018 göra en geologisk 3D-modell, med möjlighet att koppla på hydrogeologiska och hydrologiska parametrar, för hela Gotland. När denna modell är klar kan den användas tillsammans med erfarenheter bl.a. från detta projekt för att se var förutsättningarna kan vara bra för ökad konstgjord grundvattenbildning på ön. Med andra ord kan man förutsättningslöst göra studier utan att utgå från befintliga vattentäktslägen.

I detta arbete kommer SGU även att studera och använda sig av studier från andra länder där man kommit längre vad gäller reglerade akviferer (eng. *Managed Aquifers*). I områden med torka (t.ex. Kalifornien) samt områden med mycket vatten (t.ex. Nederländerna) finns stora erfarenheter av hur man kan sköta grundvattenmagasinen bl.a. genom infiltration av överflödsvatten från större regn, men även renat avloppsvatten, dels för att bli av med vatten vid höglöden, dels för att ”ladda” akviferen och därmed skapa grundvatten för bl.a. dricksvattenssyfte.

REFERENSER

- Bergström, K.H., 1987: *Vattnet på Gotland, anteckningar om vattenhanteringen på ön*. ISBN 91-85716-45-6. 184s
- Carlstedt, A. & Erlström, M., 2004: Visby vattenförsörjning. Revidering av skyddsområde för Visby–Vibble vattentäkter. Sveriges geologiska undersökning Dnr 08-1285/2003. 14 s.
- 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.
- Jamali, I.A., Olofsson, B. & Mörtberg, U., 2013: Locating suitable sites for the construction of subsurface dams using GIS, i *Environmental Earth Sciences*, 70. doi: 10.1007/s12665-013-2295-1.
- Miljö- och hälsoskyddsnämnden, 2015: *100-undersökningen. Dricksvattenkvaliteten i enskilda vattentäkter 2015*. Region Gotland. 30s
- Sveriges geologiska undersökning 1977: *Hydrogeologiska synpunkter på planerad brytning av kalksten och märkesten på Filehajdar*, Gotland, 85s.
- SWECO, 2016: Ansökan om vattenskyddsområden med föreskrifter för Roma grundvattentäkter. *Uppdragsnummer 1300928202*
- Thulin Olander, H., 2015: A contribution to the knowledge of Fårö's hydrogeology. *Dissertations in Geology at Lund University, GEOR02 2015I*. Lunds universitet, 39 s.
- Tullström, H., 1954: Hydrogeologiska förhållanden inom Slite köping på Gotland. *Serie C 538*, Sveriges geologiska undersökning, 28 s.
- VBB VIAK, 1991: Ansökan om lagligförklaring av grundvattentäkt för Roma samhälles gemensamma vattenförsörjning.
- VIAK 1957: Yttrande över grundvattenundersökningar i Lärbro samhälle, Lärbro kommun. Utredningsnummer i SGUs arkiv: *SGU-H09-015*.
- VIAK 1964: PM beträffande vattentäkt vid Loggarve i Klinte, Klintehamns kommun. Utredningsnummer i SGUs arkiv: *SGU-H:09-035*.
- VIAK 1961: Yttrande övre åtgärder för grundvattenförskaffning till Tofta strand, Stenkumla kommun, Gotlands län. Utredningsnummer i SGUs arkiv: *SGU.H:09-031*.
- VIAK 1974: Geohydrologiska undersökningar inom området Endre–Fole–Hejnum 1971–1973. Utredningsnummer i SGUs arkiv: *SGU-H:09-071*.

BILAGA 1.

Grundvattenmodell över vattentäkten i Stånga

Modellverktyget var Visual Modflow, en numerisk modell som matematiskt löser de tredimensionella flödesekvationerna genom så kallade finita differenser. Indata över området har importerats från det GIS som iordningställt för projektet. De data som har använts är jordarter, markyta (nya nationella höjddata, NNH), jorddjup, bergyta, bäckar och diken samt befintliga brunnar. Den grundvattenbildning och de värden som angetts i modellen är hämtade från litteraturen och från andra grundvattenmodelleringar på Gotland. SGU vill betona att modellen inte är kalibrerad och att de akviferegenskaper som angivits i modellen bara visar på rimliga vattenbalanser och möjliga grundvattennivåer som skulle kunna förekomma. För en mer detaljerad prediktion måste en grundvattenmodellering åtföljas av betydligt bättre fältundersökningar för att kunna fastställa riktiga parametrar och för att kunna kalibrera och verifiera modellen.

SGU tycker ändå att modellarbetet ger en intressant möjlighet att testa och åskådliggöra förståelsen för grundvattenmagasinen i området och samspelet med de avvattnande diken.

Modellen sattes upp med en lagerstruktur över de lösa jordlagren och berget. Gridstorleken var knappt 100 × 100 m i plan. Översta lagrets mäktighet anpassades till jorddjupet. I modellen angavs K-värden (m/s) och Grundvattenbildningen (mm) enligt tabell 1. De randvillkor som fick gälla angavs som "bäckar" (eng. *river boundaries*) till de större dränerande diken i området. Randvillkoret tillåter antingen att grundvatten dräneras ut ur modellen eller att vatten infiltrerar till grundvattnet, beroende på den modellerade grundvattennivån i bäckens närhet. Vattennivån i bäckarna anpassades i relation till markytan.

Modellerade scenarier

Inledningsvis modellerades gällande grundvattenuttag som tillfördes de befintliga brunnarna (nära väg 144). Grundvattenuttaget i modellen angavs till 900 m³/dag (90 % av vattendomen). Det scenario som sedan modellerats är att infiltrera ytvatten i en bassäng (ca 100 × 100 m stor) som anlagts i modellen ca 500 m väster om bygdegården (uppe på sand och grusavlagringen som kallas för Raudhammaren). Den konstgjorda infiltrationen motsvarade samma storleksordning som det gällande uttaget, dvs. ca 900 m³/dag (tabell 2). Tre nya brunnar placerades i modellen ca 850 m sydväst om bassängen och tilldelades ett sammanlagt grundvattenuttag som storleksmässigt motsvarade den konstgjorda infiltrationen. Grundvattennivåer och vattenbalanser mellan dessa två modeller jämfördes. Särskilt fokus lades på vattenbalansen över de närmaste diken för att undersöka om dessa dränerar ut (tar emot) mer vatten vid bassänginfiltrationen eller om brunnarna kan fånga upp större delen av det infiltrerade vattnet. Vidare analyserades modellens flödesvägar och transporttider genom s.k. partikelspårning, en metod där man i modellen släpper partiklar och kan följa deras vandring med grundvattenflödet och tiden.

Tabell 1. Modellparametrar

Marktyp	K-värde	Grundvattenbildning	Färg i modellfigurerna
Grus	1E-3 m/s	225 mm	Grön
Sand	8E-5 m/s	100 mm	Orange
Lerig morän	1E-7 m/s	30 mm	Ljusblå
Lera	1E-7 m/s	15 mm	Gul
Gyttjelera	1E-7 m/s	15 mm	Ljusbrun
Organisk jord	1E-7 m/s	30 mm	Mörkbrun
Fyllning	1E-4 m/s	100 mm	Grå
Berg	5E-6 m/s	15 mm	Mörkblå

Tabell 2. Modellens vattenbalans.

Stånga (m ³ /d)	Total gvb (in)	Brunnar (ut)	River, tot (ut)	River, tot (in)	Bassäng (in)	River, närmast (ut)	River, närmast (in)	Totalt över modellen (in)	Totalt över modellen (ut)
Utan bassäng	23 579	900	22 721	44	3	8 982	0	23 623	23 621
Med bassäng	24 499*	1 800	22 742	42	926	8 906	0	24 541	24 542
Skillnad	920	900	21	-2	923	-76	0	918	921
jfr "med" mot "utan" bassäng	mer in	mer ut	mer ut	mindre in	mer in	mindre ut	oförändrat	mer in	mer ut

* Inkluderar bassänginfiltration

Modellresultat

Modellresultat redovisas i figurerna 1–3 på nästa uppslag och i tabell 2. Modellen visar utifrån de angivna egenskaperna och randvillkoren att större delen av den infiltrerade vattenmängden når de nya brunnarna. De närbelägna dikena minskar snarare än ökar sin vattenföring. Denna bild, att majoriteten av det konstgjort infiltrerade grundvattnet når brunnarna, och inte dikena bekräftas genom modellens partikelspårning. Upphållstiden har i modellen översiktligt beräknas till drygt två år mellan bassängen och de befintliga brunnarna och drygt fyra år mellan bassängen och de nya brunnarna. SGU vill dock ytterligare betona att grundvattenbildning, konduktivitet, porositet och magasinsegenskaper som styr transporthastigheter i modellen är angivna utan någon kalibrering och att detta måste utredas betydligt noggrannare innan någon större vikt fästs vid de redovisade modelleringsresultaten. Som ett exempel är det SGUs uppfattning att den beräknade upphållstiden är alldeles för lång.

Slutsatserna av modellövningen är trots begränsningarna avseende indata och kalibreringsmöjligheter så intressanta att man borde kunna gå vidare med fördjupade utredningar för att kunna utföra förfinad modellering.

Diskussion – möjlig fortsättning

Den modell som upprättats över Stånga visar arbetssättets möjligheter. Som angivits ovan finns dock flera begränsningar i dataunderlaget som blir tydliga då man i detalj studerar modellresultatet. Några exempel kan anges:

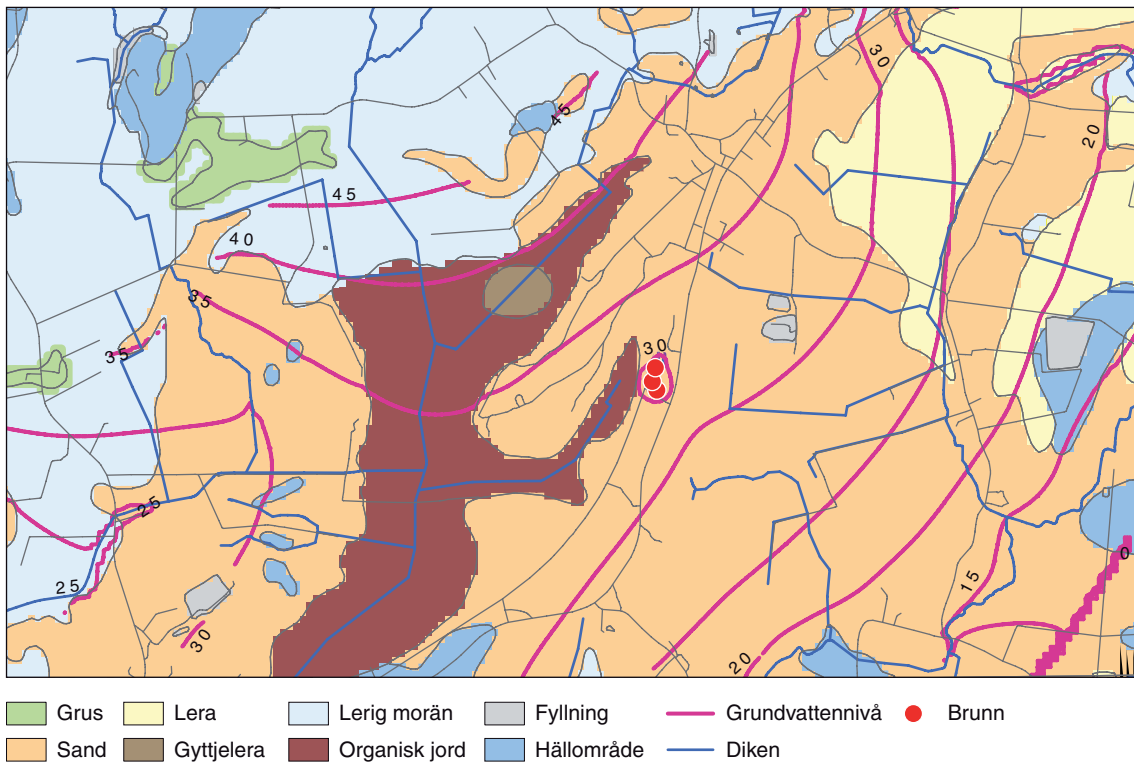
- Modellen ger sannolikt för höga grundvattennivåer, detta bör rättas till med högre K-värden och minskad grundvattenbildning. Detta kommer att ge andra vattenbalanser och nivåer än de redovisade.
- Upphållstiden i modellen verkar väl lång (875 m på 4 år i sand). Det är möjligt att de redovisade partikelbanorna passerar ner i det betydligt tätare (långsammare) berget under sanden. Detaljerad utredning behövs för att klargöra vilka porositets- och konduktivitetsvärden som bör användas, framförallt i de lösa jordarterna. En intressant jämförelse kan göras med vattenskyddsområdets avgränsning som redovisar utbredningen av ett års transport.

Vidare kan konstateras att det finns flera intressanta frågeställningar som en välkalibrerad modell skulle kunna bidra till att ge svar kring. Nedan ges några exempel:

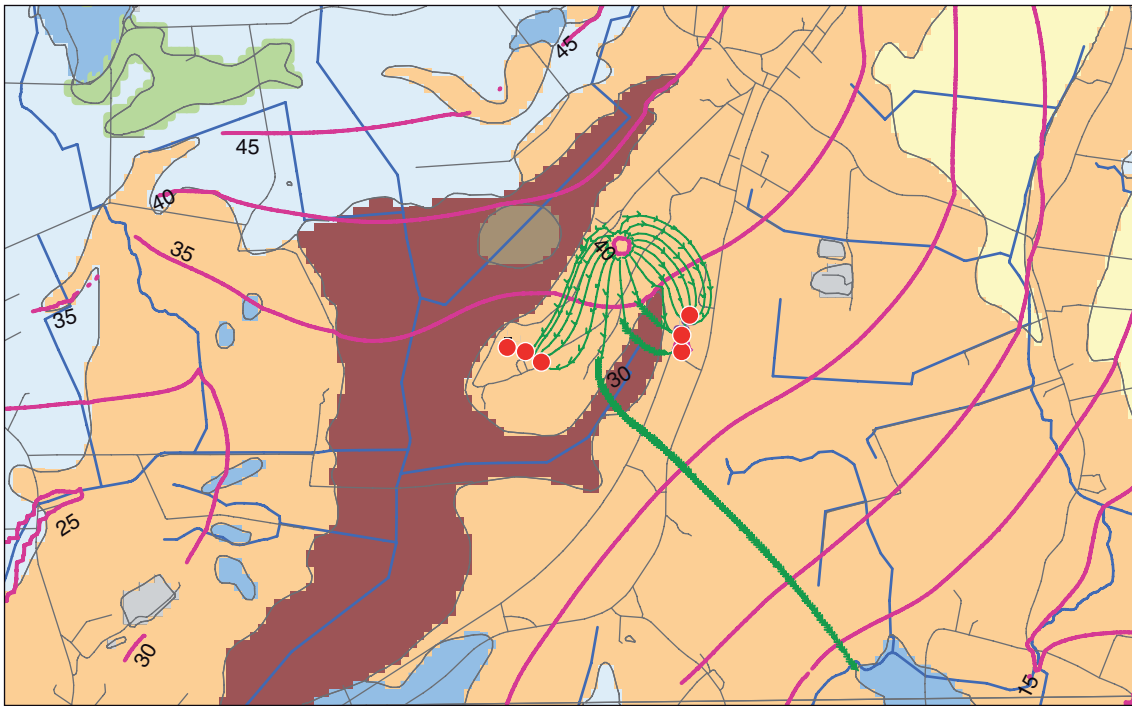
- I modellen har i dagsläget bara de större dränerande dikena lagts in (de som förväntas vara vattenförande stor del av året, och de återfinns på relativt stora avstånd från sandavlagringen). Hur påverkas de mindre, mer närbelägna dränerande dikena av infiltrationen och

grundvattenuttaget? Kommer vattenföringen i dessa att öka genom läckage från infiltrationsdammen eller ytterligare minska genom grundvattenbortledningen?

- Hur kan infiltrationsbassängen optimeras? I modellen är den nu grovyxat angiven till 4 beräkningsceller om sammanlagt ca 9 260 m², knappt 100 × 100 m, med en infiltration om 100 mm/dag vilket ger 926 m³/dag.
- Hur ska de nya brunnarna placeras och hur stort uttag kan man ta ur dessa om man inte vill låta influensområdet gå utanför sandavlagringen (dvs. fånga upp det mesta av det infiltrerade vattnet)?
- Hur mycket vatten kan man infiltrera utan att grundvattennivån stiger över en meter vid väg 144?
- Hur långt från infiltrationsbassängen bör man ha brunnarna om det räcker med ett års uppehållstid? Det kan då förväntas att uttaget ger en påverkan på grundvattengradienter osv. som också ändrar förutsättningarna för transporthastigheten.



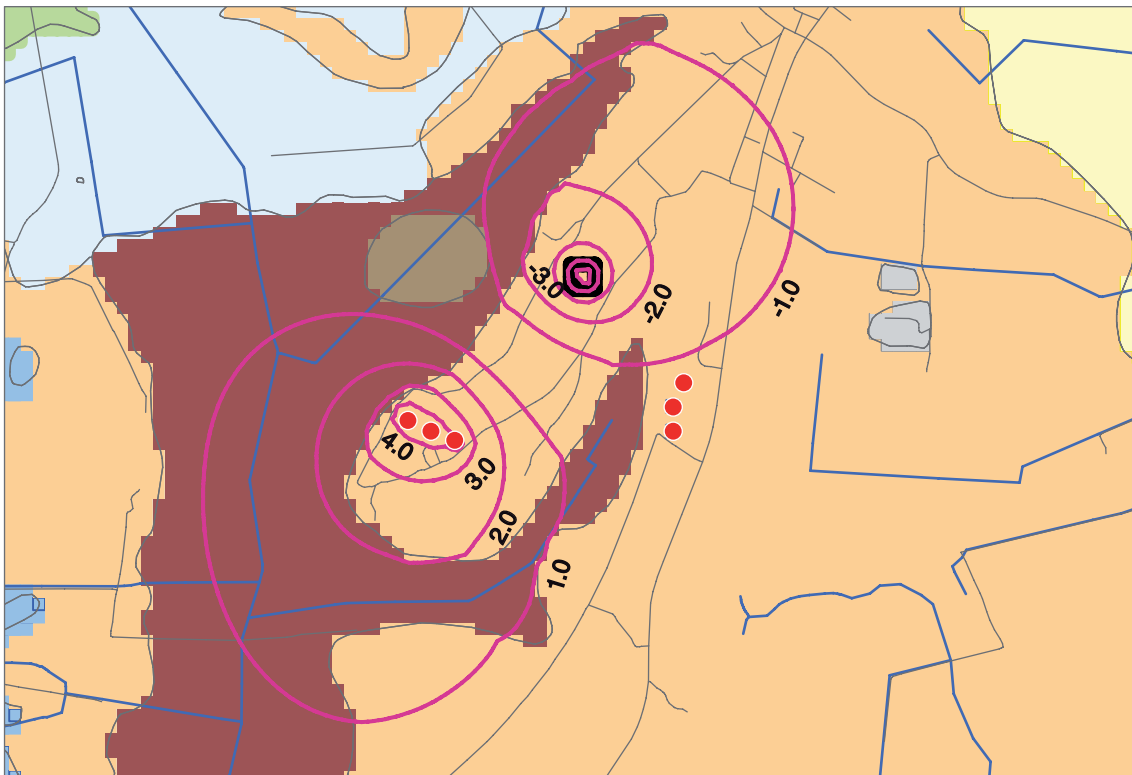
Figur 1. Grundvattennivåer (rosa ekvipotentiallinjer) vid befintligt uttag. Naturlig grundvattenbildning. Befintliga brunnar är belägna nära väg (tunna gråa linjer). Skala ca 1:200 000.



Grus
 Lera
 Lerig morän
 Fyllning
 Grundvattennivå
 Brunn

Sand
 Gyttjelera
 Organisk jord
 Hällområde
 Diken

Figur 2. Grundvattennivåer och transporttider genom partikelspårning vid konstgjord infiltration och samtidigt uttag i befintliga och nya brunnar. Partikelbanor i grönt, partiklar släppta vid infiltrationsbassängen har 1 års transporttid mellan markeringarna. Skala ca 1:180 000.



Grus
 Lera
 Lerig morän
 Fyllning
 Grundvattennivå
 Brunn

Sand
 Gyttjelera
 Organisk jord
 Hällområde
 Diken

Figur 3. Grundvattenavsänkning (rosa ekvipotentiallinjer) vid de nya brunnarna jämfört med dagens situation. Se även grundvattenupphöjningen med negativa tal vid infiltrationsdammen. Skala ca 1:110 000.

BILAGA 2.

Grundvattenmodell över vattentäkten i Slite–Filehajdar

Modellverktyget var Visual Modflow, en numerisk modell som löser de tredimensionella flödesekvationerna genom finita differenser. Indata över området har importerats från det GIS som iordningställt för projektet. De dataskikt som använts är jordarter, markyta (NNH), jorddjup, bergyta, bäckar och diken, befintliga brunnar. Den grundvattenbildning och de värden som angetts i modellen är hämtade från litteraturen och utifrån andra grundvattenmodelleringar på Gotland. Tolkningen av berglagrens uppbyggnad och den förekommande högkonduktiva zonen (i riktning nordnordost–sydsydväst) är hämtade från SGU–VIAKs utredning från 1977: *Hydrogeologiska synpunkter på planerad brytning av kalksten och mägerstein på Filehajdar, Gotland*. I denna rapport finns en generell beskrivande profil över akviferen som redovisas i figur 1 nedan, tillsammans med modellrelaterade kommentarer i rött.

SGU vill betona att modellen inte är kalibrerad och att de akviferegenskaper som angivits i modellen bara visar på rimliga vattenbalanser och möjliga grundvattennivåer som skulle kunna förekomma. För en mer detaljerad bedömning måste en grundvattenmodellering åtföljas av fältundersökningar för att kunna ansätta riktiga parametrar och för att kunna kalibrera och verifiera modellen.

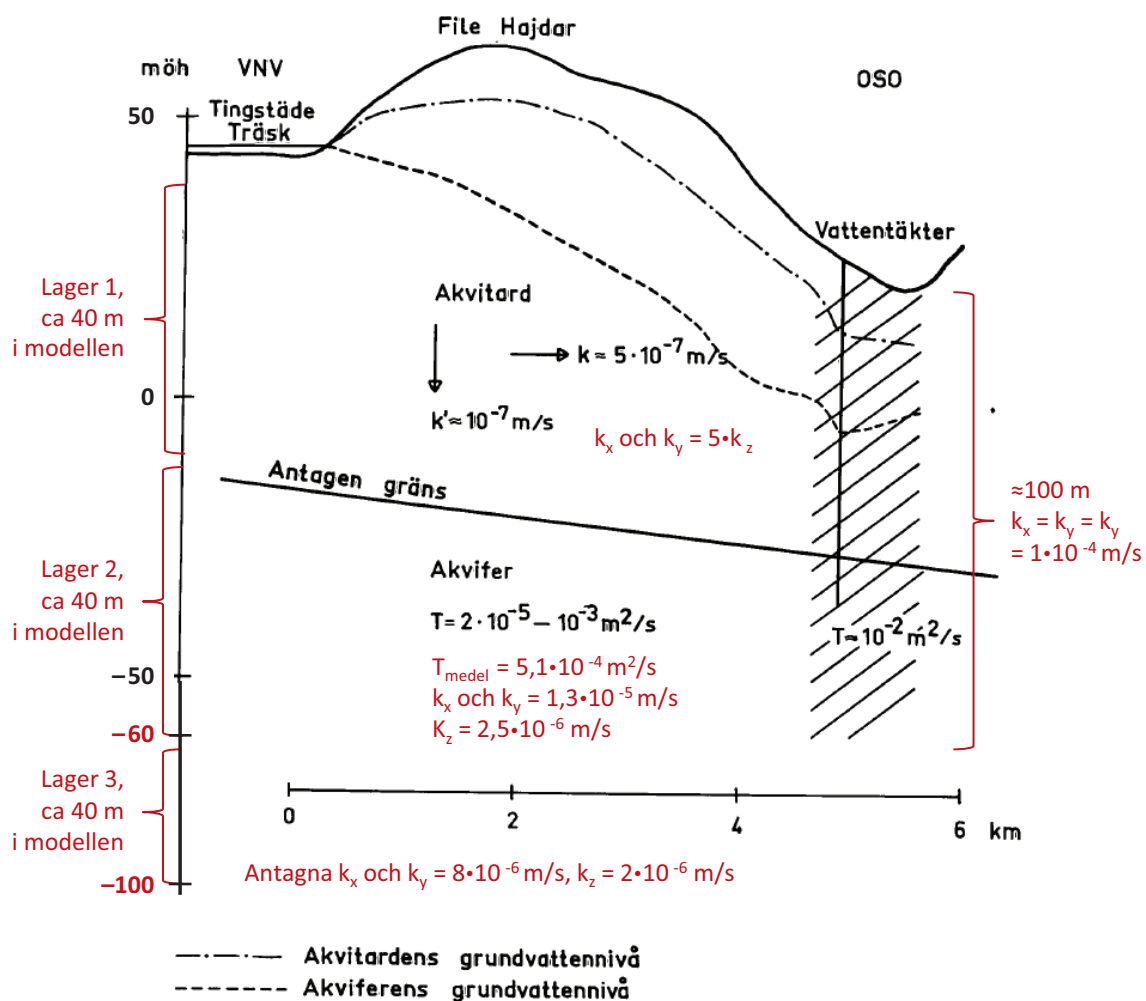
SGU tycker ändå att modellarbetet ger en intressant möjlighet att testa och åskådliggöra förståelsen över grundvattenmagasinen i området och samspelet med de avvattnande diken.

Modellen sattes upp över en stor del av nordöstra Gotland. Modelområdet avgränsning var Vägumeviken vid Slite i sydöst och Hunstädeviken vid Kappelshamn i norr. Markområdet däremellan avgränsades av ytvattendelarna, t.ex. vattendelaren mot Tigståde träsk (som alltså inte är med i modellen). I ett första försök byggdes modellen med en lagerstruktur över de lösa jordlagren och därunder berget i tre beräkningslager. Jordlagrets mäktighet angavs utifrån jorddjupsmodellen och var över stora områden mycket tunt. Emellertid hade modellen svårigheter att nå en stabil lösning och gav alltför stora numeriska fel. Jordlagret togs därför bort från modellen och den grundvattenbildning som antagits över de lösa jordlagren tillfördes istället det översta berglagret (det som tidigare var lager 2 blev istället något mäktigare och blev nu det översta lagret i modellen). Gridstorleken var drygt 200 × 200 m i horisontellt läge. Över den intressanta högkonduktiva zonen förfinades griddens till ca 50 × 50 m. I modellen angavs K-värden (m/s) enligt figur 1 och Grundvattenbildningen (mm) enligt tabell 1.

De randvillkor som fick gälla angavs som "bäckar" (*river boundaries*) till de större dränerande diken i området. Randvillkoret tillåter antingen att grundvatten dräneras ut ur modellen eller att vatten infiltrerar till grundvattnet – beroende på den modellerade grundvattennivån i bäckens närhet. Vattennivån i bäckarna anpassades utifrån markytan i deras närhet.

Modellerade scenarier

Inledningsvis modellerades gällande grundvattenuttag som tillfördes de befintliga brunnarna (åtta brunnar i den högkonduktiva zonen). Grundvattenuttaget i modellen angavs till 630 m³/dag. De scenarier som sedan modellerats är att infiltrera ytvatten i bassäng, eller bassänger (1 st ca 50 × 50 m stor, alternativt 4 st á 25 × 25 m) som anlagts i modellen i några olika intressanta lägen. Konstgjord infiltration motsvarade samma storleksordning som det i dagsläget förekommande läckaget till det stora kalkbrottet i närheten, ca 500 000 m³/år vilket ger ca 1 370 m³/dag, tillfördes bassängen(-erna). Grundvattenuttaget i de befintliga brunnarna ökades så att ökningen totalt motsvarade hälften av den konstgjorda infiltrationen. Grundvattennivåer och vattenbalanser mellan ursprunglig modell respektive scenariomodell jämfördes. Särskilt fokus lades på vattenbalansen över de närmaste diken för att undersöka om dessa dränerar ut mer vatten vid bassänginfiltrationen eller om



Figur 1. Generell profil över bergakviferen vid Slite–Filehajdar.

Tabell 1. Parametrar för modellen.

	Grundvattenbildning	Färg i modellfigur 1–6
Grus	225 mm	Grön
Sand	100 mm	Orange
Lerig morän	30 mm	Ljusblå
Lera	15 mm	Gul
Gyttjelera	15 mm	Ljusbrun
Organisk jord	30 mm	Mörkbrun
Fyllning	100 mm	Grå
Sedimentärt berg	15 mm	Mörkblå
Vatten	–	Vit

brunnarna kan fånga upp större delen av det infiltrerade vattnet. Ytterligare så analyserades modellens flödesvägar och transporttider genom s.k. partikelspårning.

Grundmodellen och de tre efterföljande scenarierna (med konstgjord infiltration) modellerades till fortvarighetstillstånd, (eng. *Steady State*). Det modellscenario som innebar konstgjord infiltration fördelad på fyra bassänger modellerades vidare i ett s.k. transient (tidsberoende) förlopp, där förändringar kan analyseras över tid.

Modellresultat

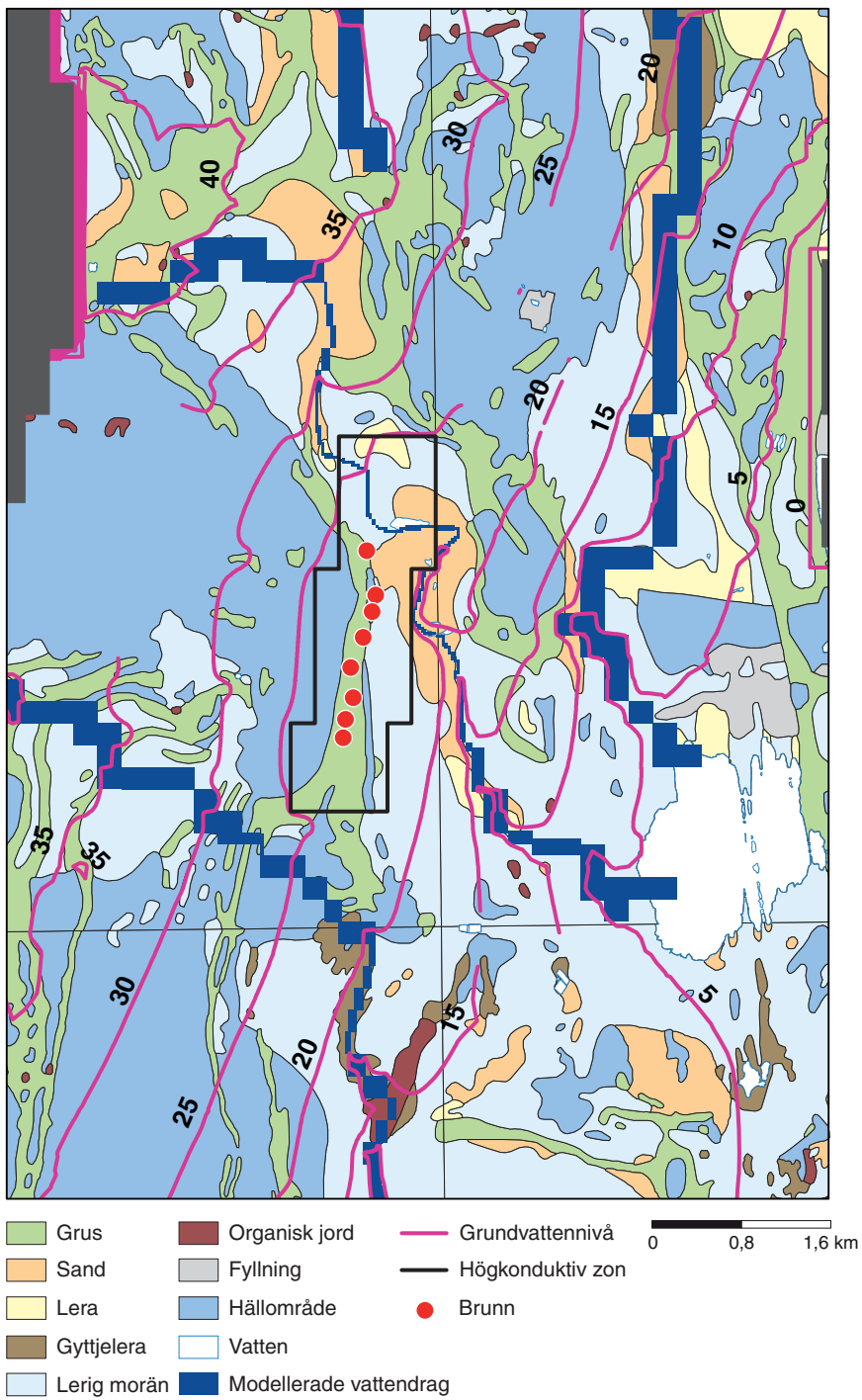
Modellen kördes till fortvarighetstillstånd, (eng. *Steady State*), vilket innebär att inga tidsberoende faktorer påverkar flödet och vattenbalansen. Balansen mellan grundvattenbildning och vattenuttag angavs i modellen som fasta värden över hela modelleringsperioden och modellen kördes tills vattenuttaget helt balanserades av inflödet till modellen. Grundvattennivåerna från grundmodellen (utan konstgjord infiltration) redovisas i figur 2. Resultat för scenariomodellerna redovisas vidare i figurerna 3–5 nedan som grundvattenavsänkning jämfört mot grundmodellen.

Modellen visar utifrån de angivna egenskaperna och randvillkoren att en stor del av den infiltrerade vattenmängden inte når de nya brunnarna. De närbelägna bäckarna och diken ökar sin vattenföring. Denna bild, att en stor del av det konstgjorda infiltrerade grundvattnet inte når brunnarna och istället hamnar i diken, bekräftas genom modellens partikelspårning ("framåtspårning" från bassängen till brunnarna). Av de tre modellscenarierna, som presenteras i figur 3–5, framgår att det är mycket viktigt att noggrant utreda var bassänginfiltrationen bör ske för att kunna fånga upp tillräckligt stor andel av det infiltrerade vattnet.

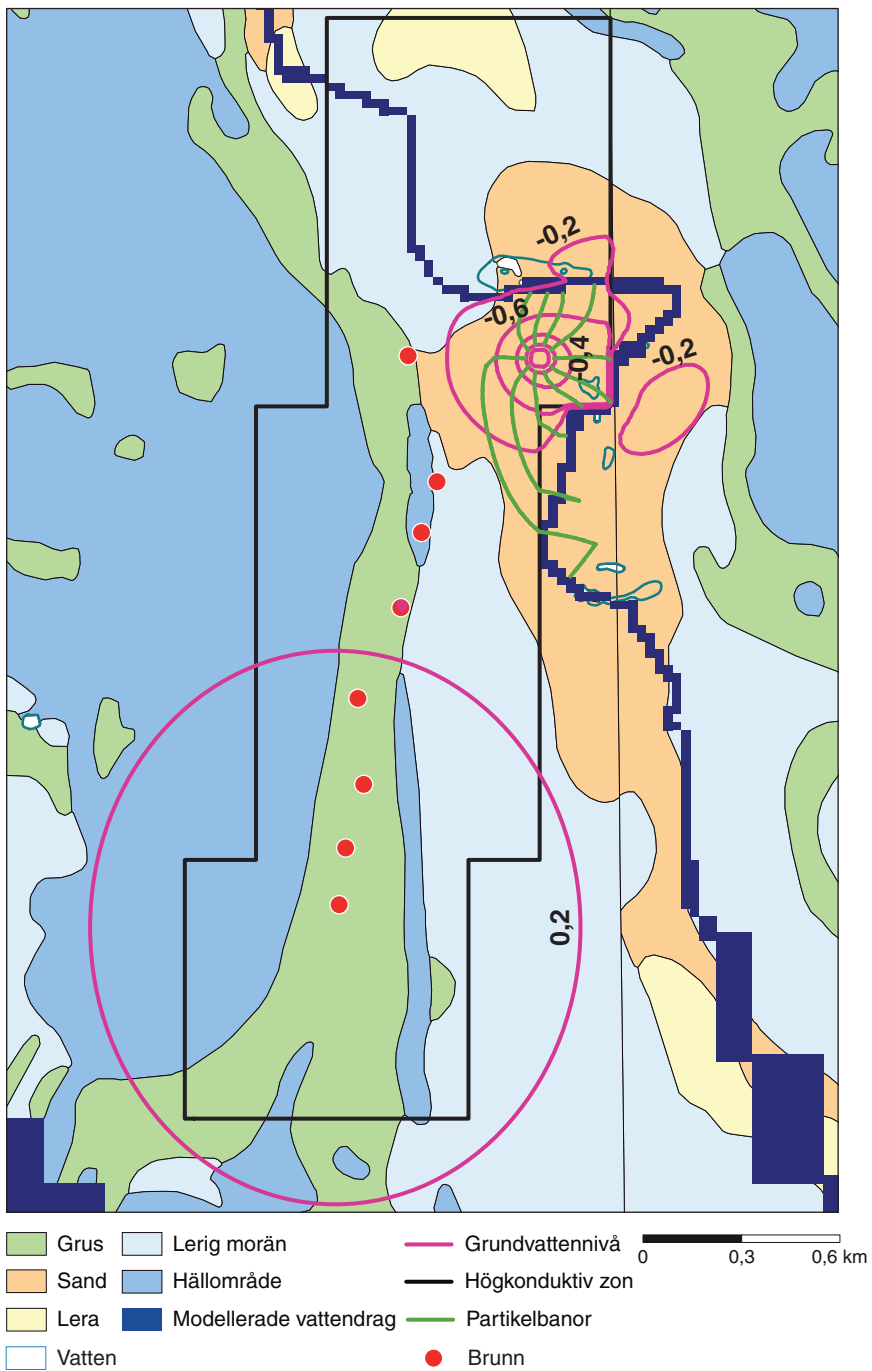
- Scenario 1 (figur 3) visar att en bassäng i det sandiga materialet nordöst om brunnsgalleriet inte alls verkar bidra till det ökade grundvattenuttaget via brunnarna. Troligen finns en begränsning i modellen då de lösa jordlagren och därmed sanden inte finns med. Infiltrationen tillfaller alltså berget direkt vilket inte skulle vara fallet i praktiken. Inte desto mindre visar modellen i detta scenario att inga partiklar från en bassäng i detta läge kommer att nå brunnarna.
- Scenario 2 (figur 4) visar att en bassäng centralt belägen mitt i brunnsgalleriet. En bassäng i detta läge kommer visserligen att bidra till de närmast belägna brunnarna, men partikelbanorna visar även här att en stor del av det infiltrerade vattnet passerar förbi brunnsgalleriet och kommer att dräneras ut via diken.
- Scenario 3 (figur 5) visar en bassänginfiltration som fördelats på fyra mindre bassänger, belägna uppströms brunnsgalleriet. I detta modellscenario har fler partiklar släppts (10 partikelbanor per bassäng), och modellscenariot visar att relativt många, men inte alla, av dessa partikelbanor slutar i brunnarna.

Uppehållstiden kan översiktligt beräknas genom att i modellen analysera antal tidsmarkörer mellan bassäng och t.ex. brunn. Det kan konstateras att de modellerade transporthastigheterna i den högkonduktiva zonen är relativt långsamma (t.ex. 3–5 år för de kortaste modellerade avstånden, ca 400–500 m, mellan bassäng och uttagsbrunn vid det scenario med flera infiltrationsbassänger). SGU vill dock ytterligare betona att grundvattenbildning, konduktivitet, porositet och magasinsegenskaper som styr transporthastigheter i modellen är angivna utan någon kalibrering och att detta måste utredas betydligt noggrannare innan någon större vikt fästs vid modelleringsresultaten.

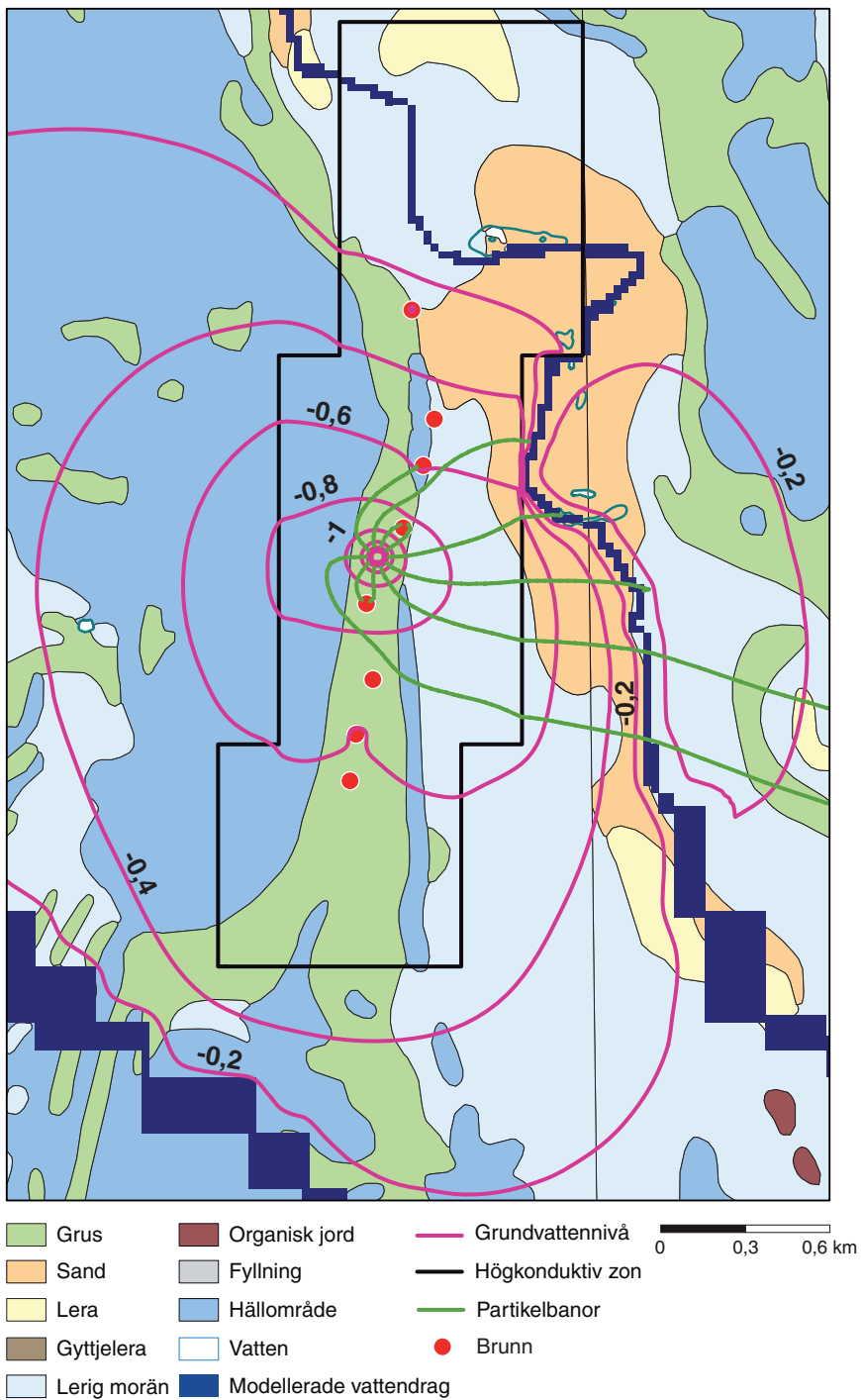
En jämförelse mellan de olika modellerade scenarierna kan göras genom att betrakta de olika modellernas vattenbalanser, se tabell 2. Det framgår att flödena i bäckarna ökar vid bassänginfiltrationen vilket tydligt indikerar att brunnsgalleriet inte tillgodogör sig allt infiltrerat vatten. Denna effekt är särskilt tydlig då bassängen anläggs strax nordost om brunnsgalleriet. I detta scenario så ökar flödet påtagligt i den mest närbelägna bäcken i nordost.



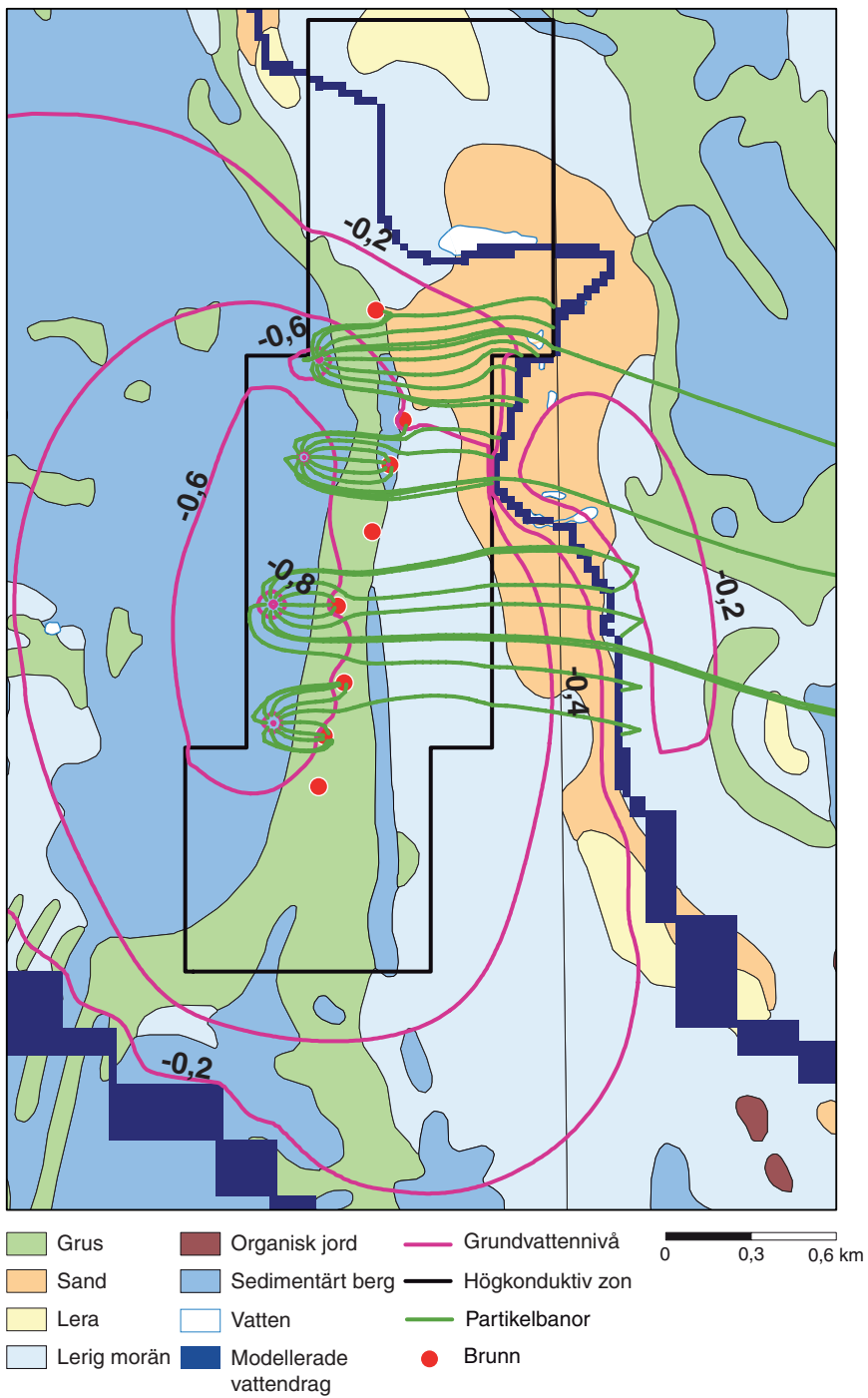
Figur 2. Grundvattennivåer (lila ekvipotentiallinjer) vid befintligt uttag. Naturlig grundvattenbildning. De vattenförande diken (blå celler) som är belägna närmast uttagsbrunnarna och som ingick i vattenbalansredovisningen är mörkblå. Befintliga brunnar är markerade med röda markörer och är belägna inne i den högkonduktiva zonen som markeras av grå linje.



Figur 3. Grundvattenavsänkning vid konstgjord grundvattenbildning och ökat uttag jämfört med dagens situation (lila ekvipotentiallinjer) vid brunnsgalleriet och infiltrationsdamm i nordost (notera grundvattenupphöjningen med negativa tal vid infiltrationsdammen). Partikelbanor framgår som gröna stråk.



Figur 4. Grundvattenavsänkning vid konstgjord grundvattenbildning och ökat uttag jämfört med dagens situation (lila ekvipotentiallinjer) vid brunnsgalleriet och infiltrationsdamm centralt belägen (notera grundvattenupphöjningen med negativa tal). Partikelbanor framgår som gröna stråk.



Figur 5. Grundvattenavsänkning vid konstgjord grundvattenbildning och ökat uttag jämfört med dagens situation (lila ekvipotentiallinjer) vid brunnsgalleriet och infiltrationsdammar utspridda uppströms brunnsgalleriet (notera grundvattenupphöjningen med negativa tal). Partikelbanor framgår som gröna stråk.

Tabell 2. Modellens vattenbalans.

Slite (m ³ /d)	Total GVB (in)	Brunnar (ut)	Bassäng (in)	Havet (ut)	River, tot (ut)	River, tot (in)	River nära i norr (ut)	River nära i norr (in)	River nära i söder (ut)	River nära i söder (in)	Totalt över modellen (in)	Totalt över modellen (ut)
Utan bassäng	39424	632	-	17738	23458	2404	2892	1259	215	98	41828	41828
Med bassäng i NO	40798*	1312	1374	17737	24025	2276	3411	1116	201	107	43073	43074
Med bassäng centralt	40797*	1312	1374	17752	23929	2196	3188	1110	246	82	42993	42993
Med bassäng utspritt	40798*	1312	1374	17750	23918	2183	3183	1096	245	82	42981	42981
Skillnad mot "Utan bassäng"												
bassäng i NO	1374	680	1374	-1	567	-128	519	-143	-14	9	1245	1246
kommentar	mer in	mer ut	mer in	samma	mer ut	mindre in	mer ut	mindre in	lite mindre ut	lite mer in	mer in	mer ut
bassäng centralt	1373	680	1374	14	471	-208	296	-149	31	-16	1165	1165
kommentar	mer in	mer ut	mer in	lite mer ut	mer ut	mindre in	mer ut	mindre in	lite mer ut	lite mindre in	mer in	mer ut
bassäng utspritt	1374	680	1374	12	460	-221	291	-163	30	-16	1153	1153
kommentar	mer in	mer ut	mer in	lite mer ut	mer ut	mindre in	mer ut	mindre in	lite mer ut	lite mindre in	mer in	mer ut

* Inkluderar bassänginfiltration

Slutsatser med fokus på infiltrationsmetod

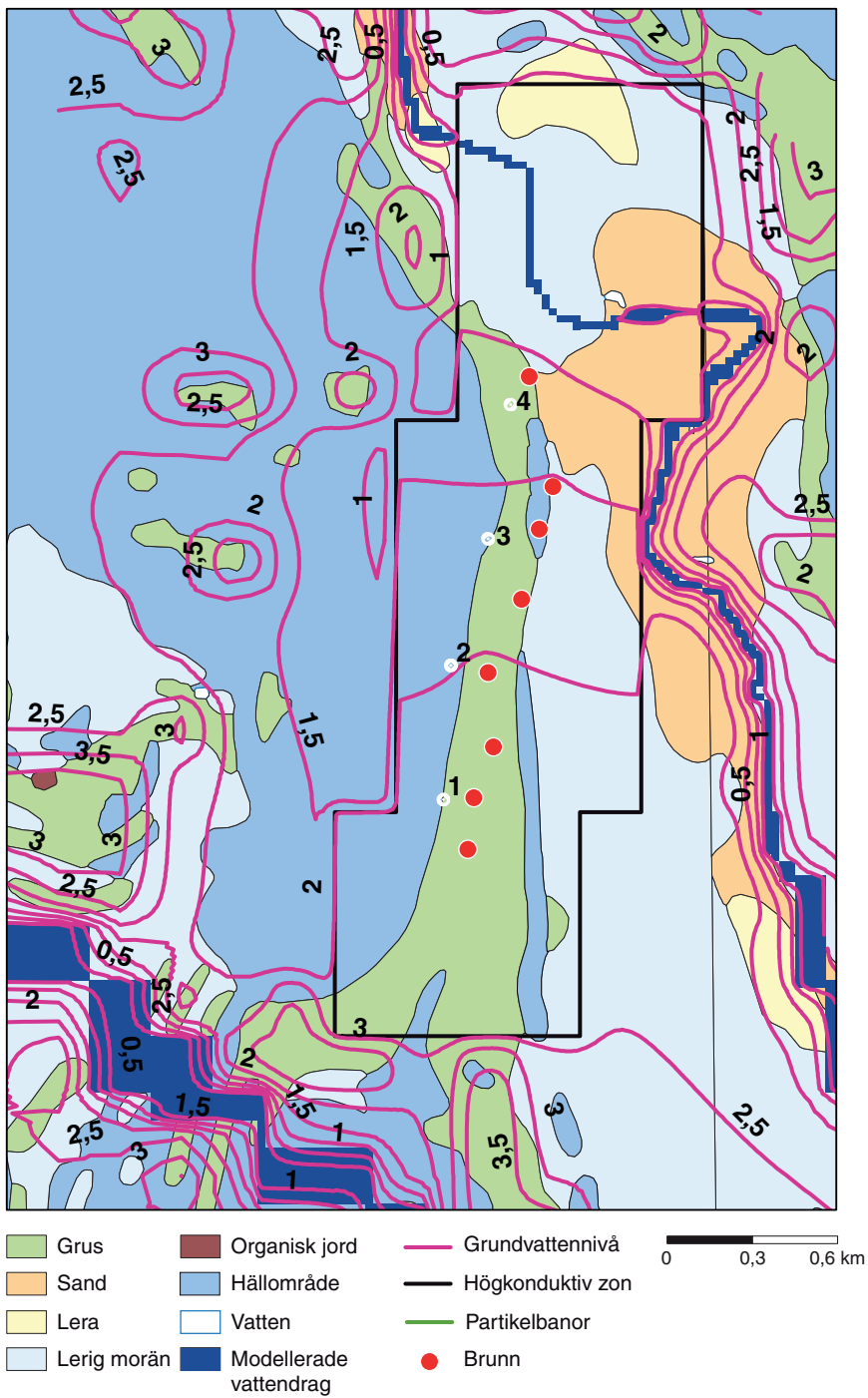
Slutsatsen som kan dras är att det är mycket viktigt att placera sina infiltrationsbassängar på ett bra sätt i relation till brunnarna. I praktiken bör även de lösa jordlagren tas med vid analys av goda lägen för infiltration. I den aktuella modellen har denna parameter rationaliserats bort, som nämnts ovan. Det är heller inte fastställt att det överhuvudtaget går att infiltrera till den högkonduktiva zonen via bassänginfiltration. Det går inte utan pilotförsök att säkert veta om detta är möjligt eller om man i praktiken skulle föredra att infiltrera t.ex. via brunnar. Om brunnar väljs som infiltrationsmetod så är det mycket viktigt att utreda transporthastigheten i akviferen noggrant så att tillräcklig uppehållstid uppnås mellan infiltration och uttag.

Slutsatserna av modelleringen är trots begränsningarna avseende indata och kalibreringsmöjligheter så intressanta att man bör gå vidare med fördjupade utredningar för att kunna utföra förfinad modellering t.ex. över delområden där jordlagren är tillräckligt mäktiga för att inkluderas i modellen.

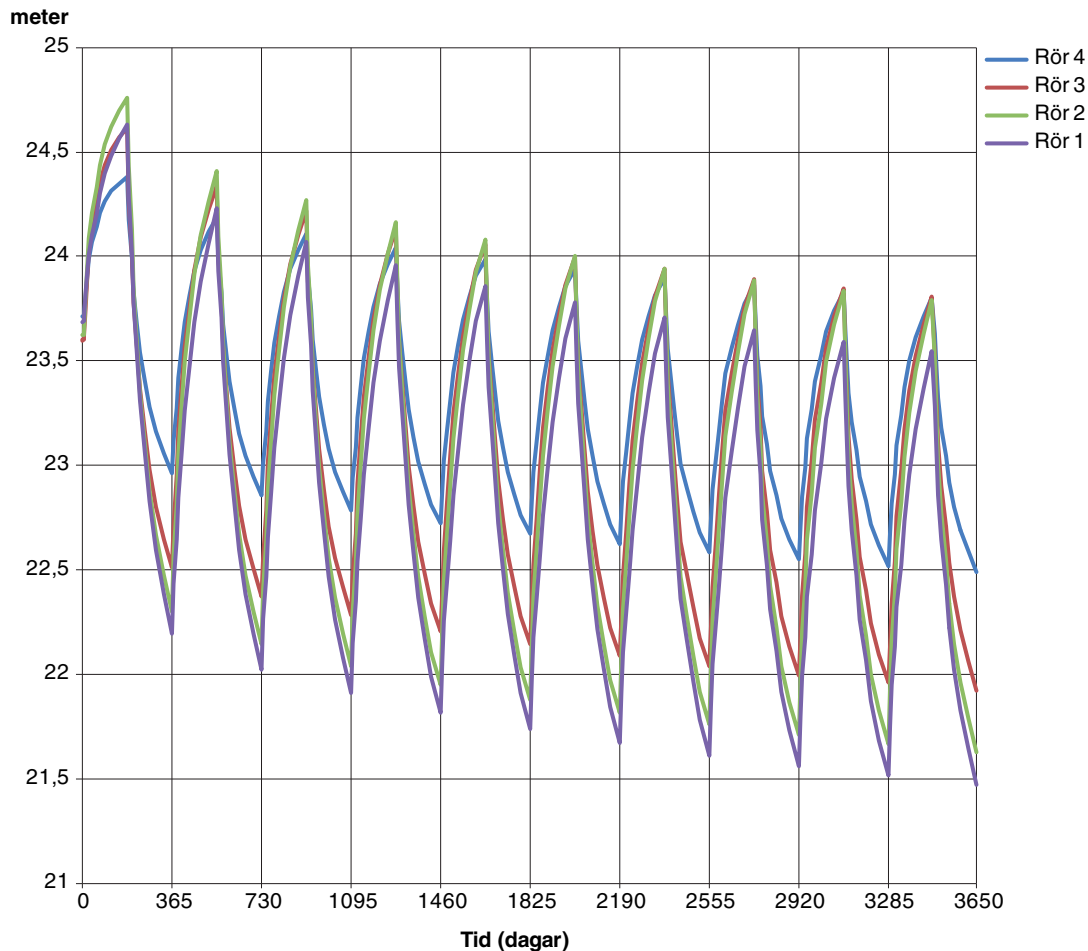
Modellering av transient (tidsberoende) förlopp

Modellen kördes även transient, dvs. resultaten analyserades i ett tidsberoende perspektiv. Det som modellerades var scenario 4 med utspridda infiltrationsbassängar. Vatten från brottet (500 000 m³/år) fördelades ut per dag och infiltrerades halvårsvis till de anlagda bassängerna och uttaget i brunnarna ökade med halva denna uttagsmängd som fördelades ut per dag per brunn under nästkommande halvår.

Resultatet redovisas som samlad avsänkning efter 10 års drift i figur 6. Figuren redovisar även placering av observationsbrunnar i modellen och figur 7 redovisar den tidserie över grundvattnivåer som modellen uppvisar för dessa modellerade observationer.



Figur 6. Grundvattenavsänkning jämfört med dagens situation efter 10 års drift av ett scenario med halvårsvis förstärkt infiltration (vinter) i utspridda dammar och halvårsvis ökat uttag (sommar). Grundvattenavsänkning (lila ekvipotentiallinjer) påverkar ett större område runt infiltrationsbassängerna och brunnarna.



Figur 7. Modellerade grundvattennivåer i tidsserie över 10 år med halvårsvis förstärkt infiltration (vin- ter) i utspridda dammar och halvårsvis ökat uttag (sommar). Observationsrörens läge i relation till dammar och uttagsbrunnar framgår av figur 6.

Slutsatser med fokus på akviferens respons

Det framgår av figur 6 och 7 att scenariot med halvårsvis växlande infiltration och uttag leder till modellerad avsänkning av akviferen i ett långtidsperspektiv. Visserligen antyder figur 7 att avsänkningstrenden är avstannande, men trots att uttaget bara ökat med hälften av den konstgjorda grundvattenbildningen så kan en utbredd avsänkning i med någon meter noteras. Man kan möjligen förmoda att bassängernas lägen inte är optimala och att om brunnarna kunde fånga en större andel av den infiltrerade vattenmängden så skulle avsänkning inte bli lika stor. Mycket utredningsarbete återstår dock för att med större säkerhet kunna uttala sig om akviferens säsongsvisa lagringskapacitet och vilka naturliga förluster som förekommer innan det ökade grundvattenuttaget träder i kraft och den förstärkta vattenresursen kan nyttiggöras.

Diskussion– möjlig fortsättning

Den modell som upprättats över Slite visar arbetssättets möjligheter. Som angivits ovan finns dock flera begränsningar i dataunderlaget som blir tydliga då man i detalj studerar modellresultatet. Några exempel kan anges:

- Modellen ger sannolikt för höga grundvattennivåer – detta bör rättas till med något högre K-värden och minskad grundvattenbildning. Att grundvattenbildningen borde minskas kan motiveras av att man i den aktuella modellen (som redovisats ovan) har generaliserat bort de lösa jordlagren och behållit den grundvattenbildning som först ansågs rimlig till jordlagren och istället påfört denna vattenmängd till berget. Tanken med detta var att den relativt höga grundvattenbildning som utan närvarande jordlager istället tillfördes berget, skulle leda till höga grundvattennivåer som vidare skulle kunna dräneras undan via det modellerade nätverket av bäckar och dränerande diken. Det är troligt att detta är snarlikt den situation som råder i verkligheten, att de tunna jordlagren snabbt blir vattenmättade vid tillfällena med hög grundvattenbildning och då dräneras ut via diken och bäckar. Men effekten av att inte alls ha med jordlagren i modellen ger sannolikt för höga grundvattennivåer i berg. En minskning av den mängd grundvatten som infiltrerar till berg kommer att ge andra vattenbalanser och lägre grundvattennivåer än de redovisade. Sambanden bör kalibreras noggrannare.
- Transporttiderna i modellen verkar något låga (exempelvis 3–5 år över en 400–500 m lång sträcka). Detaljerad utredning behövs för att klargöra vilka porositet och konduktivitetvärden som bör ansättas, framförallt i berget som nu modelleras, men det är också möjligt att transporttider i de lösa jordarterna är en viktig aspekt som nu inte alls kan redovisas då de lösa jordlagren inte finns med i modellen.

Vidare kan konstateras att det finns flera intressanta frågeställningar som en välkalibrerad modell skulle kunna bidra till att ge svar kring. Nedan ges några exempel:

- Hur stort är det naturliga läckaget (utflödet från akviferen) vid olika fyllnadsgrad och inom vilka gränser kan man magasinera och ta ut grundvatten i ett säsongs- och långtidsperspektiv?
- Hur kan infiltrationsbassängen(-ernas) lägen optimeras? I modellen är den nu grovyxat angiven till fyra beräkningsceller om sammanlagt ca 2660 m², drygt 50 × 50 m, med en infiltration om 515 mm/dag vilket ger 1370 m³/dag.
- Hur ska eventuellt nya brunnar placeras för att kunna fånga upp det mesta av infiltrerat vatten?
- Hur långt från brunnarna bör man ha infiltrationsbassänger om det räcker med ett års uppehållstid? Det kan då förväntas att uttaget ger en påverkan på grundvattengradienter osv. som också ändrar förutsättningarna för transporthastigheten.

BILAGA 3.

Förslag på förundersökningar och övervakningsprogram

Nedan ges förslag på moment som bör övervägas inför genomförandet av åtgärder i syfte att öka grundvattentillgången. Omfattningen av de förundersökningar som behövs beror mycket på storleken på de projekt som ska genomföras. I vissa fall kan det räcka med delar av nedan föreslagna arbetsmoment och i andra fall kan det behövas såväl dessa som ytterligare undersökningar beroende på de platsspecifika förutsättningarna. Ett exempel på fall där ytterligare arbeten krävs är vid platser med förorenade områden. Nedan görs beskrivningen utifrån att det är förutsättningarna kopplat till en våtmark som ska beskrivas. Samma frågeställningar är dock till stor del aktuella även vid beskrivningen av förutsättningarna i andra områden där man på något sätt tänker sig en förstärkning av grundvattentillgången.

Beskrivning av förutsättningar och kompletterande undersökningar

- Beskriv geologin, ta stöd av både äldre och nyare geologiska beskrivningar från SGU. I många äldre rapporter kan det finnas värdefulla lagerföljdsbeskrivningar av brunnar, och träskområden samt illustrativa profiler över lagerföljderna i anslutning till dessa. I SGUs arkiv över torvmarker finns ytterligare lagerföljdsdata inom våtmarkerna och i t.ex. Brunnsarkivet finns lagerföljder för övriga områdena. Viktigt att tänka på är att markanvändningen påverkat geologin så bland annat torvlagrens mäktighet har reducerats jämfört hur de beskrivs i de äldre handlingarna. Exempel på andra värdefulla kunskapskällor vid beskrivningen av de geologiska förutsättningarna är redovisningar från geotekniska undersökningar vid husbyggnation och infrastruktur samt konsultutredningar kopplade till bl.a. vattentäkter. En del av dessa konsultrapporter finns i SGUs utredningsarkiv.
- Beskriv hur markanvändningen ser ut idag men också hur den sett ut längre tillbaka i tiden. Har det t.ex. skett torvbrytning och hur har jordbruket sett ut? Även här kan stöd tas av de äldre geologiska beskrivningarna eller äldre topografi- eller fastighetskartor. De geologiska beskrivningarna från slutet av 1920-talet ger en bild av våtmarkernas status så som de såg ut då.
- Bedöm och beskriv markanvändningens inverkan på hydrologin till följd av såväl historiska som pågående dikningsföretag. Om möjligt gör en inventering av dikena på plats, inklusive djup på dikena samt typ av dikesbotten (morfologi). Om det rör sig om tillståndsgivna dikningsföretag finns ofta lagstadgade djup och bottenivåer att jämföra med. Dessa data finns på länsstyrelsen.
- Inventera eventuella synbara grundvattenutläckage i området. Som stöd i bedömningen kan man t.ex. utföra temperaturmätningar i vattendrag i vilka man misstänker utläckage men även studera vegetationen, vars typ kan berätta om det finns ett stort bidrag av grundvatten i närområdet.
- Utifrån kunskap om geologin, markanvändning, topografi och vattennivåer i yt- och grundvatten ges en konceptuell förståelse av vattnets väg i området. Beskriv denna i text och med stöd av kartor.
- Som en del i beskrivningen av vattnets väg bedöms och beskrivs tillrinningsområdet till våtmarksområdet, dvs. hela det område vari grundvattenbildning sker som når området. Med Gotlands geologi är det i många områden svårt att göra denna typ av bedömningar då transporten i berggrunden är extra svårbedömd och då jordlagren i vissa delar kan ha en komplex lagerföljd. Faktorer att ta stöd av är bl.a. topografin, hydrologin på markytan (riktning på vattenföring i vattendrag), förekomst av karst och mer vattenförande respektive mer tätande jordlager.
- Den andra viktiga delen i beskrivningen av vattnets väg är att beskriva hur området av-

vattnas. Ofta sker avvattningen via diken som är de mest vattenförande ytvattenssystemen i området.

- Som stöd i arbetet kan nya kompletterande undersökningar komma att behövas. Exempel på sådana är skruvborrningar med borrhandsvagn alternativt handborrning i syfte att få kunskap om jordlagerföljd. Frågor som då är viktiga att fånga upp är om det finns tätande lager, komplex lagerföljd samt om det finns lager som är mer vattenförande.
- Studierna som berör de hydrologiska förutsättningarna i området, såsom områdets avvattning, bör bedrivas under ett helt år så att man får med samtliga årstider. De bör även sättas i relation till hur nederbörden sett ut relativt det normala. Stöd kan tas av grundvattenssituationsskarta (SGU och SMHI), samt tidsserier med data från vattendrag från SMHI.
- Ett ytterligare viktigt moment är att se över vilka andra skyddade värden det finns att ta hänsyn till i området såsom naturvärden, kulturvärden och risk för påverkan på vattenkvalitet i omgivande brunnar. Stöd kan då tas av datakällor såsom VicNatur (Naturvårdsverket) och Fornsök (Riksantikvarieämbetet). Vad gäller kunskap om brunnar behövs i regel en brunnsinventering då Brunnsarkivet vid SGU inte omfattar samtliga nu befintliga brunnar, bland annat saknas uppgifter om grävda brunnar.
- Bedöm även möjligheterna till en biologisk symbios genom anläggandet av våtmarken. Kan fler skyddsvärden värnas samtidigt?
- Gör en naturvärdesbeskrivning. Beroende på vilken åtgärd som planeras kan påverkan även ske i kustzonen varför även denna bör beskrivas.
- Bedöm behov av anmälan eller tillstånd för vattenverksamhet enligt Miljöbalken, kapitel 11.

Kontrollerande övervakning

Syftet med övervakningen och kontrollprogrammet är bl.a. att dimensionera anläggningen; hur mycket vatten kan vi dämna eller infiltrera utan att få negativa bieffekter? Samtidigt ger övervakningen också ett kvitto på hur bra åtgärderna fungerar för att stärka grundvattentillgången.

- Övervaka kontinuerligt flöden i närliggande vattendrag.
- Övervaka grundvattennivåer i och omkring våtmarken.
- Övervaka kvaliteten i angränsande brunnar vari det bedöms finnas risk för påverkan.

Som provtagningspunkter för kontroll av grundvattenkvalitet så kan med fördel källutflöden användas och i andra hand befintliga brunnar samt äldre eller nyetablerade grundvattenrör. Observera att beroende på vilka parametrar som ska övervakas så ställs specifika krav på materialet i provtagningsröret för att få så adekvata värden som möjligt. Vägledning kring övervakning kan bl.a. ges av den vägledning som ges inom den nationella och regionala grundvattenövervakningen.

Vad gäller övervakning av grundvattennivåer så är det viktigt att synkronisera mätintervall mellan de olika observationspunkterna samt registrera vattenuttag som sker i närliggande brunnar. Intensiteten på övervakningen bör anpassas till de lokala förutsättningarna. I områden med mer snabbreagerande magasin, dvs. där grundvattennivåerna reagerar snabbt vid grundvattenbildning, bör övervakning ske med tätare mätintervall, gärna dagligen.

Kontrollera kemin i grundvattenrör och brunnar innan åtgärder påbörjas för att få referensvärden, samt löpande därefter.

Vid utvärderingen av övervakningsresultaten är det viktigt att ta hänsyn till den naturliga nederbörden och grundvattenbildningen för att på så vis kunna utvärdera om och i så fall i hur

stor utsträckning som en förändring i grundvattennivå har naturliga vädermässiga orsaker eller inte. Som stöd i den bedömningen kan data hämtas från SMHI och SGU.

Via SMHIs webbplats finns nederbördsdata och vattenföringsdata från ytvattendrag. Se efter om det finns en nederbördsstation nära som kan användas.

Inom ramen för Grundvattennätet vid SGU bedrivs en löpande övervakning av grundnivåerna runt om i landet i såväl stora som små grundvattenmagasin. Nivåmätningen utförs två gånger i månaden vid 330 stationer (sex mätpunkter på Gotland). Baserat på dessa mätningar görs varje månad en karta över aktuell grundvattensituation. Kartan redogör för grundvattennivån jämfört med det normala för månaden, dvs. om den är över eller under det normala, baserat på uppmätta nivåer 40 år tillbaka i tiden. Beroende på de lokala förutsättningarna kan antingen de aktiva stationerna användas som referens eller så kan stöd tas ifrån månadskartan.

Nytt från och med år 2016 är att man även kan få en dagligen uppdaterad bild av grundvattensituationen delvis baserad på dagsfärska nederbördsdata. Detta har möjliggjorts genom ett samarbete mellan SGU och SMHI i vilket man med en numerisk vattenbalansmodell beräknar grundvattennivån och jämför den med beräknade nivåer tillbaka i tiden. Modellens återspeglning av verkligheten är olika god på olika platser beroende på de lokala geologiska och hydrologiska förutsättningarna men ger överlag en representativ bild av grundvattensituationen. Den dagligen uppdaterade kartan nås via SMHIs webbplats och de månadsvisa kartorna nås via SGUs webbplats.