

Geologins betydelse vid våtmarksåtgärder

— Sätt att stärka tillgången på grundvatten

Magdalena Thorsbrink, Gustav Sohlenius, Marina Becher,
Paulina Bastviken, Lina Nolin Nyström & David Eveborn

september 2019

SGU-rapport 2019:15



Ändringar genomförda 8 oktober 2019

Sidan 7, figur 1:

Regimkurva utbytt mot en korrekt (annan färg).

Nivådiagram och regim i figur 1 förtydligade med a) och b).

Omslagsbild: Våtmark i anslutning till svallsandsavlagring underlagrad av kalksten.

Illustratör: Magdalena Thorsbrink

Författare: Magdalena Thorsbrink, Gustav Sohlenius, Marina Becher,

Paulina Bastviken, Lina Nolin Nyström & David Eveborn

Illustrationer: Magdalena Thorsbrink om inget annat anges.

Granskad av: Björn Holgersson

Ansvarig enhetschef: Mattias Gustafsson

Projektnamn: Våtmarker

Projekt-id: 30031

Redaktör: Marika Håkanson

Sveriges geologiska undersökning

Box 670, 751 28 Uppsala

tel: 018-17 90 00

fax: 018-17 92 10

e-post: sgu@sgu.se

www.sgu.se

INNEHÅLL

Sammanfattning.....	4
Inledning.....	5
Syfte.....	5
Avgränsning.....	5
Grundvatten och vattnets väg.....	6
Våtmarkerna i landskapet.....	8
Hydrologiskt påverkade våtmarker.....	9
Vattenbrist – var och varför?.....	11
Att förebygga vattenbrist med hjälp av våtmarken.....	12
Geologins betydelse.....	13
Underlag för att bedöma geologin i anslutning till våtmarken.....	15
Typområden torvbildande våtmarker samt åtgärdsförslag.....	18
Torvmarker som angränsar till åsmagasin och underlagras av tunna lerskikt.....	18
Utdikade torvmarker underlagrade av mäktiga lerlager.....	19
Kärrtorvmarker i småkuperad skogsterräng dominerad av hållar och morän.....	21
Torvmark vilka underlagras av genomsläppliga jordarter såsom sand och grus.....	22
Sluttande torvmarker i moränterräng.....	23
Erfarenheter från våtmarksrestaurering.....	25
Förberedande och uppföljande övervakning.....	26
Utförande av grundvattenrelaterad övervakning.....	28
Plats.....	28
Tid och frekvens.....	29
Mätmetoder och variabler.....	30
Utvärdering.....	30
Referenser.....	32

SAMMANFATTNING

I denna rapport presenteras de faktaunderlag som togs fram i samband med SGUs engagemang i våtmarkssatsningen under 2018 och början av 2019. Avsikten är att materialet ska kunna användas som stöd i kommuners och länsstyrelserns arbete med våtmarksåtgärder där syftet är att minska risken för brist på grundvatten. Jämfört med tidigare rapporter och vägledningar inom ämnet är främsta fokus i denna sammanställning geologin och dess betydelse vid åtgärder för att stärka tillgången på grundvatten.

Rapporten berör tre huvudkategorier av åtgärder som kan stärka grundvattentillgången: dels åtgärder som genom höjda grundvattennivåer stärker den magasineringseffekten av ett uttagbart grundvatten, dels åtgärder som kan avlasta grundvattnet från vattenuttag såsom anläggande av dammar och dels åtgärder som görs med målet att balansera vattenflöden i anslutning till en våtmark.

Rapporten fokuserar på torvbildande våtmarker vilka återfinns i grundvattnets utströmningsområden. Många av dessa områden är idag utdikade vilket, förutom att påverka våtmarkens grundvattennivå, även kan ha påverkat omkringliggande områden.

Målet med en våtmarksåtgärd kan variera och beroende på syfte är olika platser mer eller mindre lämpliga för en åtgärd. Störst möjlighet att påverka tillgången på ett uttagbart grundvatten finns vid platser med genomsläppliga jordarter i direkt eller nära anslutning till våtmarken. Beroende på förutsättningar kan en höjd grundvattennivå i eller i anslutning till dessa områden i vissa fall öka magasineringseffekten av ett uttagbart grundvatten. Områden med genomsläppliga jordarter som ligger i nära anslutning till våtmarken kan också vara värdefulla för tillgången på grundvatten när det går att skapa förutsättningar för konstgjord grundvattenbildning. Detta kräver dock att man i området har ett vattendrag eller en sjö med tillräcklig mängd ytvatten som kan nyttjas för infiltration. Vid våtmarker i områden med övervägande låggenomsläppliga jordarter finns i regel mindre möjlighet att påverka grundvattentillgången. På dessa platser kan man å andra sidan överväga anläggande av bevattningsdammars som kan användas för att samla upp regnvatten och vatten från dräneringsdiken och på så vis avlasta grundvatten från uttag för bevattning.

För att bedöma om en plats är lämplig för en viss typ av åtgärd är det viktigt att bedöma geologin i anslutning till våtmarken. I rapporten presenteras ett urval tillgängliga underlag för att bedöma geologin samt ett antal typområden med utgångspunkt ifrån geologin. Vidare beskrivs betydelsen av övervakning av grundvatten i samband med åtgärder samt hur en ändamålsenlig övervakning kan utföras.

INLEDNING

Efter två år med ökad frekvens av vattenbrist i Sverige initierades under år 2018 den s.k. Våtmarkssatsningen. Satsningens syfte är att finansiera åtgärder kopplade till våtmarker där det finns potential att öka tillskottet till grundvattnet eller potential att stärka landskapets egen förmåga att hålla kvar och balansera vattenflödena. Arbetet var avsett att pågå under tre år med Naturvårdsverket som huvudansvarig myndighet. Under början av 2019 upphörde satsningen tillfälligt men återupptogs igen under våren 2019.

SGU – den myndighet som har ansvar för frågor om jord, berg och grundvatten – var utpekade som deltagande myndighet i satsningen och fick genom Naturvårdsverket (NV) i uppdrag att bidra i arbetet. Uppdraget bestod bland annat i att ta fram kunskapsunderlag och stärka länsstyrelsernas och kommunernas kompetens om geologi och grundvatten. Som en del i arbetet utfördes under 2018 två s.k. ”Låna en hydrogeolog”-besök vid länsstyrelsen i Östergötland respektive i Stockholm där medarbetare från SGU berättade om geologi och grundvatten, SGUs dataunderlag och frågor kopplade till uppföljande övervakning. Under december 2018 och januari 2019 deltog SGU också i de tre webinarier som NV anordnade under tre olika teman kopplade till våtmarker: skogsmark, jordbruk och tätort. Vid webinarierna deltog handläggare på kommuner och länsstyrelser via ett Skype-möte där det även fanns möjlighet till frågor.

Denna rapport har sammanställts för att lyfta fram de underlag som togs fram i samband med SGUs engagemang vid dessa utbildningstillfällen och göra dem tillgängliga samt att ta till vara på de frågeställningar som kommit upp.

Sedan tidigare finns bra handledning bland annat i rapporterna *Rätt våtmark på rätt plats*, (Naturvårdsverket 2009a) respektive *Kunskapsunderlag om våtmarkers ekologiska och vattenbushållande funktion* (Naturvårdsverket 2017). Denna rapport är tänkt att fungera som ett kompletterande stöd i frågor kring våtmarksinsatser.

SYFTE

Rapportens innehåll ska kunna ge stöd till handläggare på bland annat kommuner och länsstyrelser som planerar att utföra våtmarksåtgärder i syfte att behålla vattnet i landskapet och att stärka tillgången på uttagbart grundvatten. Rapporten lyfter fram vilka faktorer som är viktiga för att få rätt effekt med insatta åtgärder och ger råd om hur geologiska data och övriga kunskapsunderlag kan användas. Vidare redogörs på ett generaliserat sätt förutsättningarna som ges av geologin och grundvattenförhållandena i anslutning till ett antal geologiska typmiljöer där våtmarker förekommer. Slutligen beskrivs betydelsen av övervakning av grundvatten i samband med åtgärder samt hur en ändamålsenlig övervakning kan utföras.

Möjligheterna att fördröja avvattningen i landskapet är beroende av fler faktorer utöver geologin varför texten till viss mån även berör förutsättningar såsom topografi och hydrologi.

Avgränsning

Fokus för rapporten är åtgärder som görs i syfte att stärka landskapet med avseende på mängden uttagbart grundvatten, dvs. markens förmåga att magasinera vatten som kan nyttjas för vattenuttag. Men givetvis kan en våtmarksrestaurering också ha andra syften. Det gör att en våtmark som här anses vara mindre lämpad som restaureringsobjekt ur ett vattenförsörjningssyfte, kan vara lämpligt för restaurering ur andra hänseenden.

I avsnittet om övervakning berörs främst övervakning av grundvatten och inte övervakning av andra faktorer som ytvattenflöden, biologiska faktorer med mera.

Rapporten omfattar endast i begränsad omfattning frågor kopplade till ytvatten och lyfter t.ex. inte frågor kopplade till översilningsängar, meandrande av vattendrag och fördämningar.

Som nyss nämnts så bygger rapporten på de underlag som ställdes samman under SGUs arbete inom våtmarkssatsningen. Rapporten har ingen ambition att heltäckande besvara alla berörda frågeställningar.

GRUNDVATTEN OCH VATTNETS VÄG

Grundvatten är det vatten som finns under markytan, i den s.k. mättade zonen, där alla porer och hålrum i marken är fyllda med vatten. Ovanför grundvattenytan ligger den omättade zonen där markens hålrum endast delvis är vattenfyllda. Grundvattnet utgör en viktig del av vattnets kretslopp och bidrar till det vatten som finns i våra sjöar, vattendrag och våtmarker. Grundvattenbildning sker i det vi benämner inströmningsområden, varifrån vattnet rör sig i den mättade zonen, för att sedan nå markytan i utströmningsområden och transporteras vidare i det hydrologiska kretsloppet.

Var i landskapet utströmningen sker beror huvudsakligen av topografin och geologin, men varierar också säsongsmässigt som följd av varierande grundvattennivåer. Oftast sker utströmningen i terrängens lågpunkter, såsom vid våra vattendrag, sjöar, källområden och våtmarker. I utströmningsområdet ligger grundvattenytan vid eller nära markytan. Mängden utströmmande vatten påverkas bland annat av storleken på inströmningsområdet samt av markens genomsläpplighet. Egenskaperna hos grundvattnet i utströmningsområdet påverkas bland annat av det djup och den transporttid som vattnet haft i marken samt de processer som har hunnit ske där.

Grundvattenbildningen beror till stor del av nederbörd, avdunstning och markens genomsläpplighet. Vanligtvis är det bara en mindre mängd av nederbörden som bildar grundvatten, men andelens storlek varierar över året. Under vintern och på sommaren är grundvattenbildningen normalt sett låg, eftersom en stor del av nederbörden som faller antingen magasineras som snö respektive avgår som avdunstning (direkt eller via växternas vattenupptag). För att nederbörden ska röra sig ner i jordprofilen till den mättade zonen där grundvattnet finns så krävs generellt uttryckt en tillräckligt hög vattenhalt i marken, vilket är en omständighet som oftast inträffar under snösmältningen på våren samt under regnrika perioder på hösten.

Grundvattnets förekomst i marken kan beskrivas som vattnet i ett grundvattenmagasin. Grundvattenmagasin avser en tydligt avgränsad geologisk formation med en sammanhängande grundvattenmättad zon. Grundvattenmagasinen kan delas in i snabbreagerande ("små") respektive långsamreagerande ("stora") magasin. De små grundvattenmagasinen, som bland annat finns i morän och urberg, påverkas snabbare av en förändrad grundvattenbildning till följd av förändrade hydrologiska förhållanden jämfört med de långsamreagerande, där förändringen märks först efter en längre tid och först när förändringen är tillräckligt stor.

De stora långsamreagerande magasinerna är ofta större, sammanhängande sand- och grusavlagringar med god genomsläpplighet vilket skapar goda möjligheter för stora grundvattenuttag. Det är därför som många av de större uttagen för allmän dricksvattenförsörjning sker i stora magasin. De små snabbreagerande grundvattenmagasinen är ofta viktiga för den enskilda vattenförsörjningen, då det är där som de flesta enskilda brunnarna finns. De små magasinerna reagerar snabbt på nederbörd och torka vilket gör att de är känsliga för torrperioder men fylls på fort under perioder med mycket nederbörd.

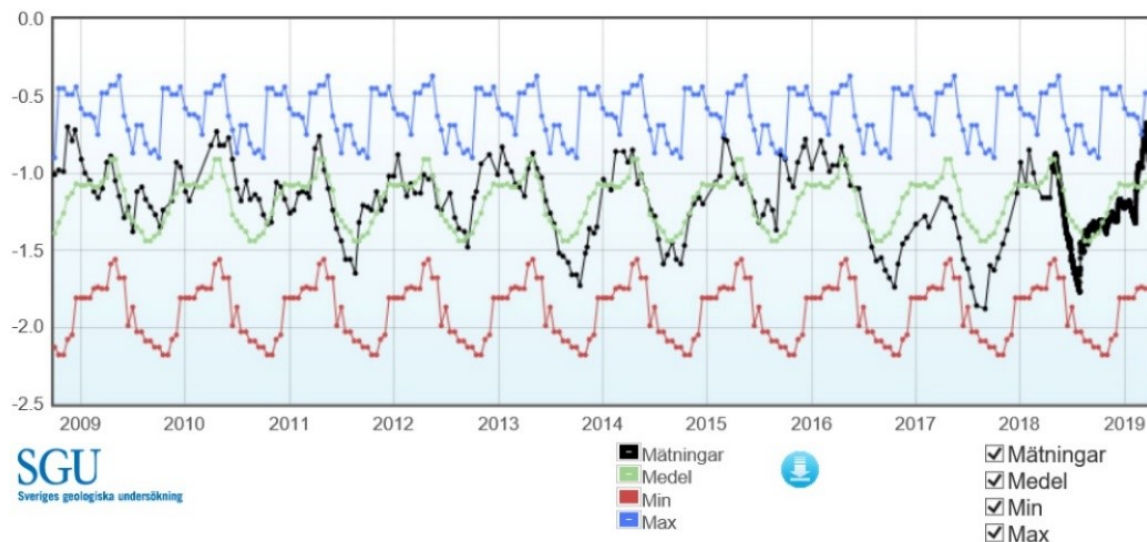
Förhållandena i de snabbreagerande små grundvattenmagasinen kan beskrivas med hjälp av s.k. regimkurvor som visar när under året grundvattennivåerna stiger respektive sjunker (Vikberg m. fl. 2015). Mängden grundvattenbildning beror av hydrogeologi och klimat vilket gör att regim-

mönstret ser olika ut beroende på var i landet man befinner sig. I landets allra nordligaste delar sker grundvattenbildning främst i samband med snösmältningen på våren, medan det i mellersta Sverige sker en påfyllning under vår och höst. I södra Sveriges kustområden sker ofta en kontinuerlig påfyllning av magasinen från höst till tidig vår. Ur ett bristperspektiv medför detta regim-mönster att det i de mindre magasinen i norra Sverige främst är risk för vintertorka samtidigt som det i södra Sverige främst är risk för sommartorka. För att åskådliggöra hur grundvattennivåerna kan variera i ett mindre magasin i Mellansverige visar figur 1 hur nivån varierar i SGUs nivåövervakningsstation utanför Hallsberg tillsammans med en regimkurva för samma delområde i Sverige.

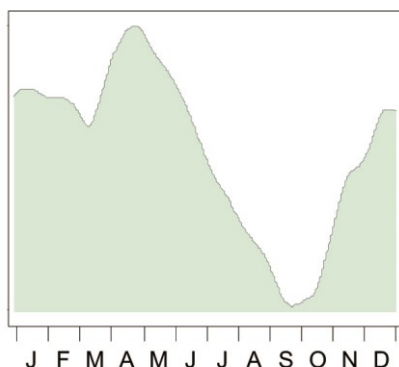
Termen tillrinningsområde brukar användas för att beskriva vilket område som bidrar till grundvattenbildningen för ett visst grundvattenmagasin. För att beskriva var vattnet som når ett visst vattendrag härrör ifrån används termen avrinningsområde vilket definieras som hela det område som kan bidra till flödet i en viss punkt i ett vattendrag. Då en våtmark kan innefatta såväl grundvatten som ytvatten används fortsättningsvis termen avrinningsområde för att beskriva de markområden varifrån vatten rör sig mot våtmarken.

a)

Grundvattennivå för station: Hallsberg_9 (17_9) - meter under markytan



b)



Figur 1. a) Nivåvariationen i ett litet grundvattenmagasin beläget utanför Hallsberg (SGU 2019) jämfört **b)** grundvattenregimen (blekgrön kurva) för motsvarande område där respektive månad anges med en bokstav (Vikberg m.fl. 2015).

VÅTMARKERNA I LANDSKAPET

Till följd av att det finns många klassificeringssystem för att beskriva vår natur, så finns det också många definitioner på våtmark (Naturvårdsverket 2017). I våtmarksinventeringens arbete (Naturvårdsverket 2009b) definieras våtmark på följande sätt:

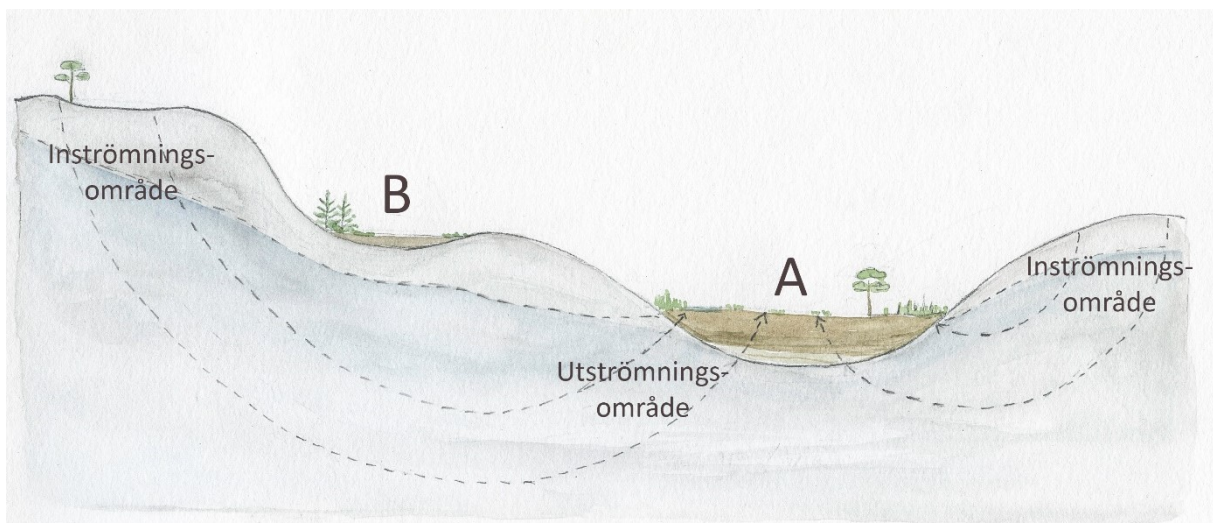
”Våtmarker är sådan mark där vatten under en stor del av året finns nära under, i eller över markytan, samt vegetationstäckta vattenområden”.

De våtmarker SGU fokuserat på i sitt engagemang i våtmarkssatsningen är främst torvbildande våtmarker. Torv kan bildas i områden där det tidigare legat en sjö som fyllts med sediment och torv, eller i våtmarker där fastmark försumpas på grund av hög nederbörd eller utläckande grundvatten. I dessa miljöer blir nedbrytning av växtdelar ofullständig på grund av syrebrist och ackumulerat organiskt material. Beroende på omständigheterna kan det på vissa platser bildas upp till flera meter tjocka lager av torv och i flacka områden med hög nederbörd kan våtmarkerna växa ut åt sidorna och med tiden uppta större arealer.

Torv bildas i de allra flesta våtmarker men i unga våtmarker, t.ex. längs landhöjningskuster, har ett torvlager inte hunnit ackumuleras.

Bildningsmiljöerna för torv delas upp i två huvudsakliga kategorier, kärr och mossar. Miljöerna ger upphov till torv med olika egenskaper och på SGUs jordartskarta skiljer man därför ofta på kärrtorv och mossetorv. Utdikade och odlade torvmarker betecknas efter sin ursprungliga karaktär.

Kärrmiljöerna, i vilka vi finner flertalet av våra torvbildande våtmarker, finns i regel i grundvattnets utströmningsområden, där grundvattnet har en uppåtriktad flödesgradient (se område A i fig. 2). Utströmningsområdets storlek kan variera över året och marken i utströmningsområdet behöver inte alltid vara vattenmättad ända upp till markytan. I de fall marken är helt mättad så känns det igen på plasket under fötterna. Kärrtorven karakteriseras av de växter som bildat torven och kan vara uppbyggd av exempelvis starr, vass, fräken och fuktälskande örter. Kärren kan även vara bevuxna av träd såsom björk, gran och al. Vegetationen i ett kärr avgörs i stor utsträckning av tillgången på näringsämnen i inströmningsområdet, men förändras även alltefter-som torvlagren i kärret byggs på. Ett ungt kärr kännetecknas ofta av mycket vass, men efter hand tar olika starrarter över och i ett senare skede kan kärret täckas av skog.



Figur 2. Tvärsnitt genom ett landskap med in- och utströmningsområden. Pilarna visar hur vattnet rör sig från inströmningsområden till en torvtäckt våtmark. I figuren finns även en mindre torvmark vilken ligger i inströmningsområdet. Torvlagren har symboliserats med brun färg.

I områden med hög nederbörd kan kärr med tiden vidareutvecklas till mossar. Dessa bildas då torven i det tidigare kärret växt på höjden och bildat en välvd konvex överyta. Den välvda mossen utgör ett inströmningsområde för grundvatten. Det vatten som finns tillgängligt centralt på mossen kommer därmed direkt från nederbörden (och ej från långtransporterat grundvatten), vilket leder till att vegetationen på mossen är mycket fattig och domineras av olika arter av vitmossa och starr. I kanterna av en mosse finns ofta en hel del träd till skillnad från mossens centrala delar som i regel helt saknar träd. Längs mossens kanter finns ett blötare kärrområde som kallas laggen och som utgör ett lokalt utströmningsområde för grundvatten.

Det finns även mindre våtmarker i inströmningsområden för grundvatten (se område B i fig. 2) men då på områden där det finns jord- eller bergarter med en låg genomsläpplighet som hindrar vattnet från att infiltrera i marken.

I Sverige bidrar våra topografiska och klimatologiska förhållanden till goda förutsättningar för torvbildning och som en konsekvens av detta utgörs omkring femton procent av Sveriges landareal (67 000 km²) av torvmarker (Schoning 2014).

Hydrologiskt påverkade våtmarker

Många torvmarker har dikats för att ge förutsättning för jordbruk eller bättre skogstillväxt. Exempel på detta visas i figur 3 och 4. Dessutom har många våtmarker avvattnats för att möjliggöra utvinning av torv. I vissa delar av landet, t.ex. på Gotland, har nästa alla våtmarker påverkats av dikning (Dahlqvist m.fl. 2017). Idag är det ovanligt med nydikning och i södra Sverige finns ett generellt dikningsförbud. Vid exempelvis etablering av torvtäkt kan dispens från detta förbud förekomma. I sådana fall är det viktigt att undvika dikning av våtmarker där det finns en risk att omgivande grundvattenmagasin påverkas negativt (Schoning m.fl. 2017).



Figur 3. Många dikade torvmarker utgörs av tidigare jordbruksmark där gran planterats (Foto: Kristian Schoning, SGU).

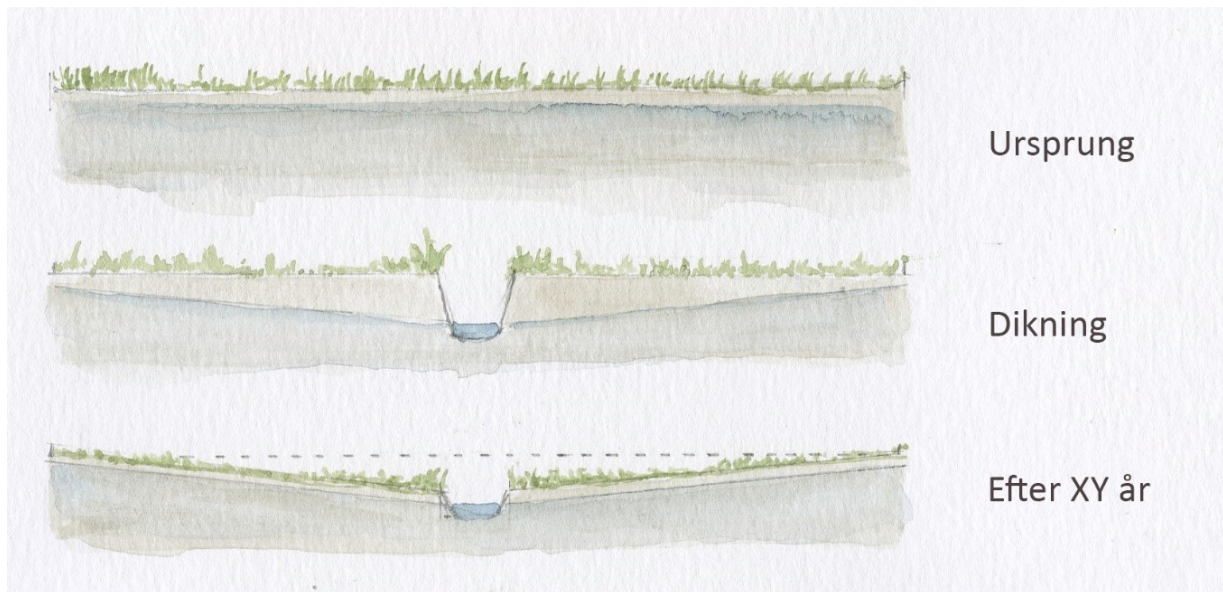


Figur 4. En uppodlad dikad torvmark i Västmanland. Torvjorden känns igen på den karaktäristiska brunsvarta färgen (Foto: Henrik Mikko, SGU).

I och med dikning av torv i en våtmark sjunker grundvattennivån i torven. Påverkan blir störst närmast diket för att sedan avta utåt sidorna (se fig. 5). Som en följd av avvattningen påbörjas också en oxidation, dvs. en nedbrytning av torven. Efter några tiotal år har oxidation och kompaktering av den syresatta torven gjort att torven sjunkit ihop i en gradient som följer vattennivån så att den ursprungligen flacka marken bildar ett tråg (Naturvårdsverket 2010). Speciellt i områden där torvmarker dikats för att möjliggöra uppodling sker en mycket snabb oxidation (se t.ex. Berglund 2008) och med all sannolikhet så finns det idag jordbruksmark där tidigare torvlager helt oxiderat bort. Dikad torvmark, speciellt jordbruksmark, utgör därför en signifikant källa av växthusgaser till atmosfären (Kasimir-Klemedtsson m.fl. 2001). Genom att åter höja grundvattenytan i sådana områden kan oxidationen av torv avbrytas och våtmarken kan i stället på sikt åter börja fungera som en sänka för kol från atmosfären (Kasimir-Klemedtsson m.fl. 2001).

Utöver att dikningen påverkar nedbrytningen av torvlagren så påverkas även grundvattenkemin. Det beror bland annat på att miljön i torven under grundvattenytan ofta är syrefri och reducerande förhållanden råder. Utsätts denna syrefria miljö för dikning så kan tidigare komplexbundna ämnen såsom järn, mangan och arsenik som är stabila vid en redoxpotential frigöras och följa med i dikesvattnet (Dahlqvist m.fl. 2017).

I de djupare 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 fastlagts som sulfider eller adsorberats till det organiska torvmaterialet – ett exempel på det senare är uran som ofta anrikats i torv.



Figur 5. Tvärsnitt genom en våtmark som påverkas av ett dike. Streckad linje representerar ursprunglig markyta. Efter Naturvårdsverket 2010.

Metallerna kan frigöras både 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. Ett sådant område med tillskott kan t.ex. vara olika typer av kärr och rikkärr som får vatten från omgivande fastmark (Dahlqvist m.fl. 2017).

Beroende på hur dräneringen från våtmarken ser ut nedströms själva våtmarken, kan det även ske en dränering av landskapet nedströms. Ett exempel på det kan ses på Gotland där dränering av äldre myrmarker gjort att de diken som finns för att föra bort vattnet från myrmarkerna också dränerar svallsandsavlagringar i området mellan de dränerade våtmarkerna och havet (SGU 1964).

VATTENBRIST – VAR OCH VARFÖR?

När tillgången på vatten är begränsad samtidigt som det finns ett behov av vatten så uppstår vattenbrist. Tillgången på grundvatten styrs främst av två faktorer: den årliga grundvattenbildningen och magasineringsförmågan. Med magasineringsförmågan avses markens förmåga att lagra ett uttagbart vatten där vi kan likna marken vid en behållare som kan innehålla en viss mängd grundvatten som vi kan nyttja i en eller flera brunnar under en säsong.

Områden där magasineringsförmågan blir avgörande är där jordtäckena är tunnare eller mindre genomsläppliga, vilket ofta motsvarar miljön där vi finner de flesta av våra enskilda brunnar. Områden där i stället den årliga grundvattenbildningen är begränsande är där vi hittar större grundvattenmagasin.

Områden i Sverige där det bedöms föreligga mycket stor risk för vattenbrist till följd av bland annat en begränsad magasineringsförmåga är; östra kustområdet och skärgården från Älvkarleby i norr till Karlshamn i söder, Öland och Gotland samt kustområdet i väster från Kungshamn i norr till Onsala i söder. (Hjerne 2018).

Sårbarheten vid en varierad grundvattenbildning, dvs. under torrår med mindre nederbörd, är större i områden där magasineringsförmågan är liten eftersom det där finns en mindre vattenbuffert i landskapet. I sammanhanget är det också viktigt att komma ihåg att ett utdikad och

dränerat landskap har en minskad magasineringsförmåga. Det kan därför vara just där som det kan vara allra mest värdefullt att vidta åtgärder för att återskapa och restaurera våtmarker.

Med framtida klimatförändringar kommer även grundvattensituationen att förändras. En för vattenförsörjningen viktig förändring är att perioden med sjunkande grundvattennivåer förväntas bli längre eftersom tidpunkten när grundvattnet börjar sjunka tidigareläggs under året, samtidigt som tidpunkten för grundvattenbildningens början på hösten senareläggs (Vikberg m.fl. 2015). Detta gör att områden där man redan idag kan ha problem med vattenbrist kan komma att få ännu större utmaningar i framtiden.

ATT FÖREBYGGA VATTENBRIST MED HJÄLP AV VÅTMARKEN

Risken för vattenbrist kan minskas på flera sätt och i vissa fall kan man direkt eller indirekt dra nytta av miljön i våtmarker och deras omgivning. Våtmarker kan vara befintliga, restaurerade eller nyanlagda vari det finns möjlighet att ta till vara den vattenmagasinerande förmågan i och nära våtmarken. I de fall de geologiska förutsättningarna är sådana att en höjd grundvattennivå i en våtmark kan påverka nivåerna även utanför våtmarken, så kan detta öka möjligheten till uttag av grundvatten vilket kan bidra till att reducera en bristsituation.

En mer indirekt åtgärd kan vara att man genom att anlägga dammar för bevattning i anslutning till våtmarken kan bidra till en minskad användning av grundvatten vilket reducerar risken för vattenbrist. En ytterligare möjlighet att minska vattenbristen kan vara att balansera vattenflödet i anslutning till våtmarken så att ytvatten nedströms en våtmark kan nyttjas för exempelvis bevattning även under torrperioder vilket kan bidra till att uttagen av grundvatten kan minskas. En balansering av flödet kan t.ex. ske genom reglering av dikningen i våtmarksområdet genom varierade dämningarnivåer. Uttag av ytvatten från våtmarken, eller vattendragen nedströms våtmarken, kan också användas för konstgjord grundvattenbildning i de fall infiltrationsförutsättningar finns att tillgå på ett rimligt avstånd ifrån våtmarken eller vattendraget.

När det finns genomsläppliga jordarter, som sand eller grus, i anslutning till våtmarken kan en höjd grundvattennivå i anslutning till våtmarken stärka möjligheterna till uttag av grundvatten. Där kan en höjd grundvattenyta i våtmarken leda till att nivån höjs i omgivande markområden vilket då kan ge en betydelsefull ökning av uttagbar vattenvolym. Detta uppnås genom att åtgärda sådana diken som tidigare har skapat problem men som nu däms tillbaka till högre nivåer. Det kan också ske nedströms våtmarken, i de fall diken som avvattnar våtmarksområdet passerar områden med genomsläppliga jordar. Om våtmarken däremot omges av mindre genomsläppliga jordarter som lera och morän sker i regel ingen markant ökning av mängden tillgängligt grundvatten.

Ska våtmarken nyttjas som ett utjämnande magasin behövs en tillräcklig utjämningsvolym i området som kan ta emot större vattenvolymer och som kan avge vatten vid lägre nivåer. Detta möjliggör att våtmarken kan hålla vatten under perioder med höga nivåer i vattendragen nedströms, för att sedan bidra till att bibehålla flöden i vattendragen nedströms under tider med lägre nivåer. För att detta ska vara möjligt krävs även ett tillräckligt stort avrinningsområde så att det finns en tillräcklig mängd vatten att magasinera i våtmarken. Det är dock viktigt att komma ihåg att avrinning från en myr kan vara mycket liten vid låga grundvattennivåer. Kunskapen och erfarenheten kring i vilken utsträckning våtmarken kan fungera som utjämnande magasin är emellertid enligt SGUs uppfattning relativt begränsad. Exempelvis konstaterar Menberu m.fl. (2018), i en studie från Finland, att det finns stor osäkerhet om hur de hydrologiska processer som påverkar avrinning förändras efter våtmarksrestaurering, beroende på att väldokumenterade avrinningsdata per avrinningsområde som hade kunnat jämföra situationen innan och efter restaureringen saknas.

Vid anläggning för konstjord grundvattenbildning kan denna antingen utformas som en mer klassisk anläggning för infiltration av ytvatten eller så kan man skapa en mer våtmarksliknande miljö i ett inströmningsområde som löpande matas med vatten.

Det går med andra ord att göra en mängd olika åtgärder i våtmarksmiljöer i syfte att begränsa risken för vattenbrist, men det vi främst kommer att fokusera på i rapporten är restaurerande åtgärder som görs i naturligt förekommande torvproducerande våtmarker.

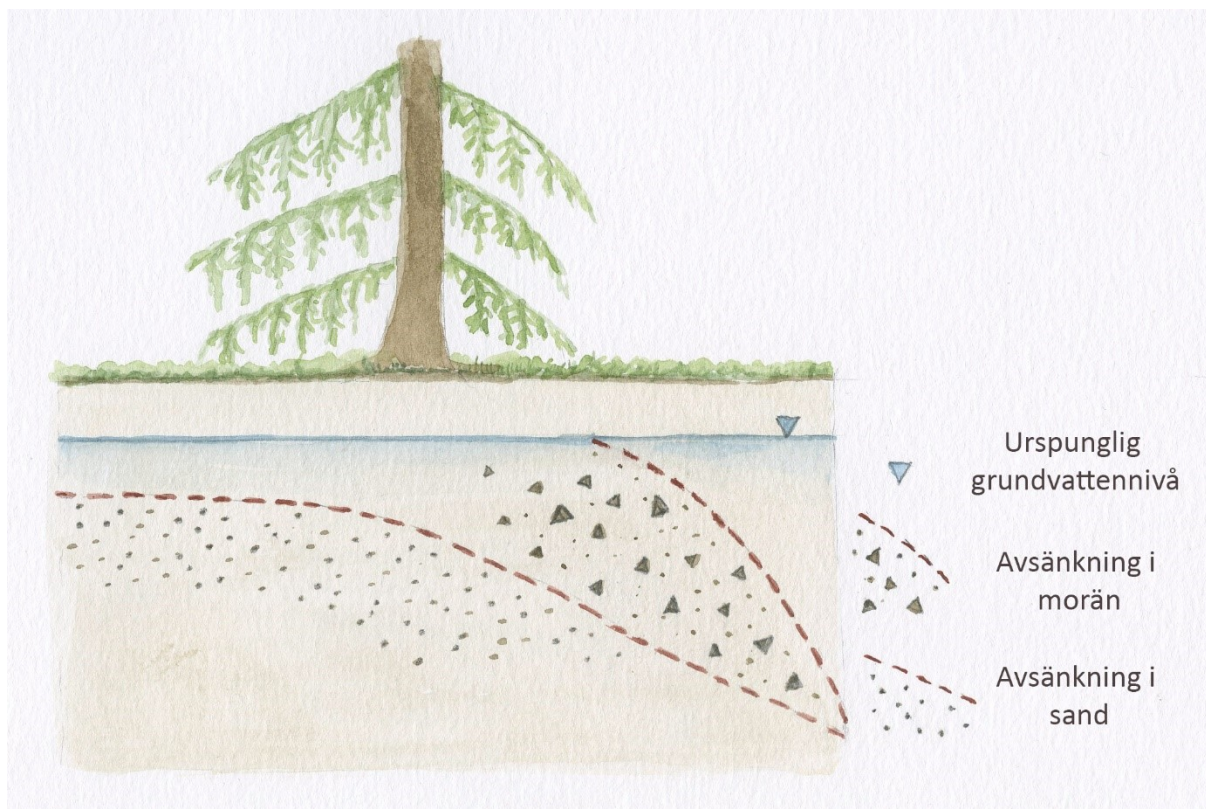
Geologins betydelse

De jordartsgeologiska förhållandena kring en våtmark har som nämnts en stor betydelse för om en restaurering av en våtmark kan leda till att grundvattennivåerna i omgivande jordar höjs. Jordarternas genomsläpplighet för vatten, dvs. hur snabbt vatten kan röra sig genom materialet, varierar mellan olika jordarter. Denna genomsläpplighet kan beskrivas med termen hydraulisk konduktivitet och anger med vilken hastighet som vatten kan röra sig genom en jord. Finkorniga jordarter som lera och silt har en mycket låg genomsläpplighet medan grovkorniga jordar som sand och grus har en högre genomsläpplighet.

Jordarternas genomsläpplighet påverkar i sin tur effekten av dikning på två sätt. Dels genom att det påverkar lutningen på avsänkingskurvan (grundvattenytans lutning) mot diket (se fig. 6), men även genom att det påverkar trögheten i magasinet som helhet. Detta kan åskådliggöras med en brunn som är placerad i ett sandmagasin. Där kan nivån i hela magasinet sänkas till följd av uttaget i brunnen, om uttaget är tillräckligt stort. Är brunnen däremot placerad t.ex. i en dalsänka med lerig morän så sker ingen avsänkning av dalsänkan som helhet, utan enbart i området närmast brunnen. Anledningen till det är att det möjliga vattenuttaget i lerig morän är mindre, samtidigt som magasinet också är så hydrauliskt trögt att det hinner ske en påfyllnad av grundvatten innan avsänkningen på grundvattennivån hunnit ge effekt på dalgången som helhet.

För att få en bild av skillnaden i egenskaper hos olika jordarter visas i tabell 1 den hydrauliska konduktiviteten för olika jordarter. Som framgår i tabellen kan genomsläppligheten variera stort för en och samma jordart. Detta gäller främst i morän som är Sveriges vanligaste jordart. Anledningen till det är att kornstorlekssammansättningen i morän varierar och i vissa områden dominerar leriga moräner medan sandiga och grusiga moräner dominerar i andra områden. I områden med morän varierar därför storleken på det område där grundvattennivåerna påverkas av en restaurering av en våtmark.

Även egenskaperna i själva torven kan variera stort då den hydrauliska konduktiviteten är betydligt lägre i torv där växtdelarna brutits ner jämfört med i en torv där växterna är ofullständigt nedbrutna. Eftersom nedbrytningsgraden generellt ökar med djupet i våtmarken så avtar den hydrauliska konduktiviteten med djupet. Undantag kan dock förekomma med lokalt mer vattenförande lager.



Figur 6. Schematisk bild över avsänkning i olika jordarter beaktande variation i hydraulisk konduktivitet.

Jordartstyp	Porositet		Hydraulisk konduktivitet						Vattenmängd		
	Primär (genom porer) %	Sekundär (genom sprickor & dyl. sällan > 10%)	Omfång (m/s)						Uttag i brunnar		
			10^0	10^{-2}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}	Hög	Måttlig	Låg
Grus	30–40										
Grovsand	30–40										
Mellansand– finsand	30–35										
Grovsilt– Finsilt	40–50	Tillfälligt									
Lera, morän	40–50	Ställvis (sprickor, skikt)									
Torv	Uppgift saknas										

Tabell 1. Porositet, hydrauliska konduktivitet och uttagbara vattenmängder efter Brown m.fl. 1973 samt Charman 2002. Den hydrauliska konduktiviteten varierar kraftigt mellan olika jordarter vilket påverkar möjligheten att utvinna dricksvatten. En brunn belägen i en jordart med låg genomsläpplighet kommer mycket långsamt att återfyllas med vatten om den töms.

UNDERLAG FÖR ATT BEDÖMA GEOLOGIN I ANSLUTNING TILL VÅTMARKEN

Vid bedömning om det finns goda förutsättningar för att restaurering av en våtmark kommer att leda till att grundvattentillgångarna i omgivningen ökar är det viktigt att göra sig en bild av platsens geologi. För detta finns en mängd geologiska underlag som kan ge stöd, både platsspecifika undersökningar och generella kunskapsunderlag. Man bör därför till en början se över vilka befintliga geologiska underlag som finns att tillgå för ett område och därefter eventuellt komplettera med ytterligare undersökningar på platsen.

Som ett första steg kan man ta stöd i SGUs jordartskartor. Dessa finns framtagna i olika skalor för olika delar av landet vilket medför en varierande detaljeringsgrad, något som är viktigt att komma ihåg när man läser kartan. För att vidare bedöma hur jordarterna kan se ut på djupet under våtmarken och i dess omgivning kan man ta stöd i borrhingsuppgifter ifall sådana finns. På de tryckta jordartskartorna finns dessutom ofta en profil som visar en schematisk bild av jordlagerföljden i området som omfattas av kartan. SGUs databas Jordlagerföljder visar resultat från borrhningar och grävningar genom jordlagren. Dessa observationer har dels utförts av SGU och dels av andra aktörer. I många fall redovisas de olika jordarternas fördelning från markytan ner till bergöverytan. Denna typ av observationer har oftast gjorts i samband med olika bygg- och infrastrukturprojekt och finns därmed främst i tätbefolkade områden samt längs vägar och järnvägar.

SGUs jorddjupsmodell visar de totala jorddjupen i hela Sverige, och har tagits fram genom att använda jorddjupsinformation som exempelvis finns i SGUs brunnsarkiv och i databasen för jordlagerföljder. Modellens tillförlitlighet varierar beroende på hur mycket data som finns tillgängligt i ett visst område, men är generellt mer tillförlitlig i tätbefolkade områden. Jorddjupsmodellen visar följaktligen inte vilka jordarter som finns i ett område, men genom att använda modellen tillsammans med jordartskarta och annan data kan man få en uppfattning om både jordarternas egenskaper i området och även hur mäktiga jordlagren är.

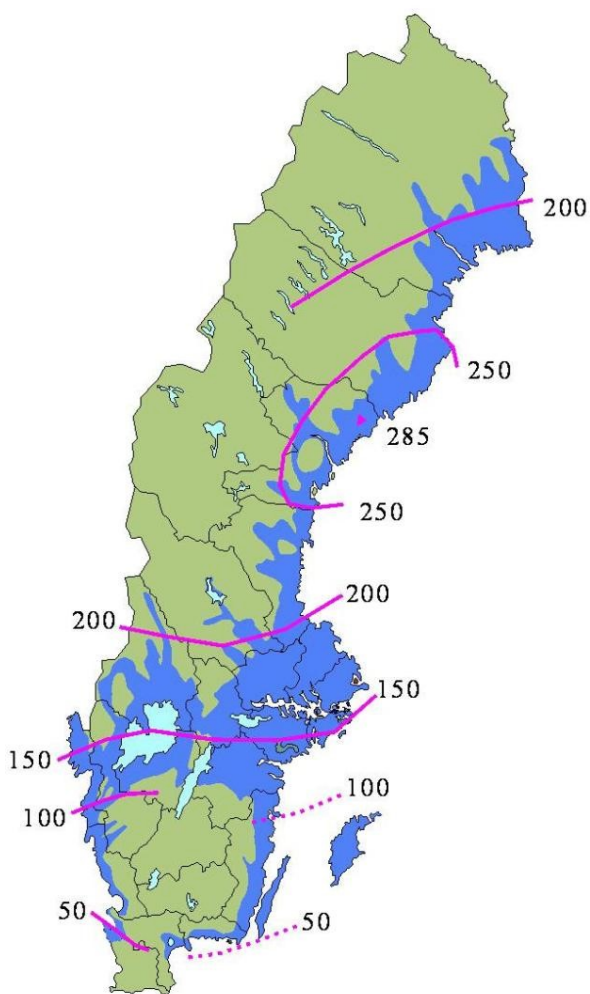
Man kan också ta reda på om platsen ligger under eller över den s.k. högsta kustlinjen (HK). Högsta kustlinjen är den nivå i Sverige dit havet nådde som högst under eller efter den senaste istiden. Utbredningen av HK framgår i figur 7. Den är en viktig referens när det gäller hur jordarter bildats och omlagrats.

Områden ovanför högsta kustlinjen domineras av moränjordar, eventuellt med tunnare lager av finare jordarter (lera, silt). Det beror på att detta område torrlades då inlandsisen drog sig tillbaka och därmed har det endast lokalt funnits förutsättning för avsättning av finkorniga jordar (lera och silt).

Områden nedanför högsta kustlinjen tenderar att ha en mer komplex jordlagerföljd, eftersom vattnet möjliggjort transport och sedimentation av finkornigt material. Därför är som regel moränen i terrängens lågpartier täckt av finkornigare jordarter i olika lager med olika mäktighet (tjocklek) beroende på när och hur de bildats. Eftersom våtmarker oftast är belägna i dessa lågpartier är det vanligt att det under torven i områden under högsta kustlinjen finns lager med lera. Ovanför högsta kustlinjen är det vanligare att torven ligger direkt på morän eller på sjösediment som avsatts innan torven började ackumulera. Det är följaktligen vanligare att torvmarker under högsta kustlinjen underlagras och omges av jordar med låg genomsläpplighet för vatten. Även under högsta kustlinjen finns dock våtmarker som ligger i direkt anslutning till sand- och grusavlagringar med en hög genomsläpplighet.

För att få fördjupad kunskap om geologin i anslutning till själva torvmarken kan man ta hjälp av det material som finns i SGUs torvarkiv. Här finns nämligen handskrivna dagböcker, kartor med anteckningar och profiler över torvförekomster i södra Sverige vilka undersöktes 1912–1930. Torvmarkerna undersöktes genom att prover från handdrivna borrhningar karaktäriserades på plats ute i fält. Dessutom beskrevs i fält de undersökta torvmarkernas allmänna egenskaper. Informationen från dessa undersökningar beskriver torvmarkernas storlek, torvlagrens mäktighet, underliggande jordart, torvslag, torvens humifieringsgrad, våtmarkernas vegetation, påverkan av markavvattning och en hel del annat så som de såg ut vid tiden för undersökningen. Många av dessa torvmarker var då de undersöktes opåverkade men har idag påverkats av markavvattning. All denna information kan användas som ett underlag för att identifiera vilka torvmarker som är lämpliga för restaurering. Speciellt kan informationen om underliggande jordart användas för att bedöma om det finns förutsättningar att påverka grundvattennivåerna i de områden som omger våtmarken.

För att skapa sig en bild av vattnets väg i området i anslutning till våtmarken så är höjddata från Lantmäteriet en viktig utgångspunkt för att bedöma var grundvattenbildningen sker (inströmningsområden) och var det finns har utströmningsområden. När det gäller grundvattnets strömningsvägar är grundregeln i områden med morän att grundvattenytan oftast följer topografin. I en större isälvsavlagring styrs istället flödesförhållandena bl.a. av bergrundstopografin under åsen och läget för den eller de lågpunkter varvid grundvatten strömmar ut från åsmagasinet. Stöd för bedömningen av flödesriktningen i just åsarna ges av SGUs kartor över grundvattenmagasin.



Figur 7. Det mörkblåa på kartan visar områden som idag utgörs av land men som efter den senaste istiden legat under vatten. Den högsta nivån, som under denna period täckts av vatten, brukar kallas den högsta kustlinjen (HK). Nivån för denna kustlinje varierar och ligger i norra Sverige högre ovan dagens havsyta jämfört med i södra Sverige. Det beror på att inlandsisen var tjockare i norra Sverige och därmed kunde pressa ner jordskorpan till lägre nivåer. Siffrorna anger HKs höjd över dagens havsyta angivet i meter.

Bedömningen av flödesriktning i de grundvattenmagasin som SGU kartlagt baseras i de flesta fall på nivåmätningar utförda i grundvattenrör och brunnar. Dessa uppgifter finns att tillgå i SGUs databaser och kan vara värdefulla att använda i arbetet vid en våtmark. Uppgifter om grundvattenrör kommer i sin tur från tidigare grundvattenutredningar som finns inlagrade i arkivtjänsten Grundvattenutredningar.

Vid en bedömning av om det finns enskilda brunnar i området som kan komma att påverkas av eventuella åtgärder kan Brunnsarkivet ge ett visst stöd. Här finns uppgifter om vatten- och energibrunnar som rapporterats in till SGU med stöd av lagen om uppgiftsskyldighet. Dock ska man ha i beaktande att Brunnsarkivet inte innehåller samtliga enskilda brunnar och att det därför är bra att göra en kompletterande brunnsinventering lokalt på platsen.

SGUs underlag finns som kartvisare, WebMapService-tjänst (WMS), öppna data eller tillgängligt via kundtjänst. I kartvisaren är det möjligt att titta på de olika underlagen var för sig. Med WMS-tjänsten kan specifika lager läggas in i ett geografiskt informationssystem (GIS). Öppna data kan laddas hem som JSON- och csv-filer – två textbaserade format som används för utbyte av data. För att få tag på Grundvattenutredningar och Torvmarksinventeringarna i södra Sverige behöver man idag (juni 2019) kontakta SGUs kundtjänst. I tabell 2 återfinns en överblick över var de olika underlagen kan hämtas.

Tabell 2. På SGU finns olika typer av data som kan användas för att identifiera våtmarker som är lämpliga att restaurera med syfte att höja grundvattennivåerna i omgivande mark.

	Kartvisare	WMS	Öppna data	Kontakta kundtjänst
Jordartskartan	X	X		
Jordlagerföljder	X			
Jorddjupsmodellen	X	X		
Jorddjupsobservationer	X	X		
Torvmarksinventeringar i södra Sverige				X
Torvlagerföljder	X		X	
Sårbarhetskartan för grundvatten		X		
Grundvattenmagasin	X			
Grundvattenutredningar				X
Grundvattennätet med tidsserier av grundvattennivåmätningar	X			
Miljöövervakningsdata (grundvattenkemi)	X	X	X	
Brunnar	X	X	X	
Källor	X	X	X	
Högsta kustlinjen				X



Figur 8. Genomsnitt av en utdikad torvmark som gränsar till en rullstensås med ett grundvattenmagasin. Den gula färgen åskådliggör lerlagret under torven, som i sin tur vilar på det mer genomsläppliga åsmaterialet (beige färg med runda ringar). Därunder finns moränlagret (gråblåfärg) som vilar på berggrunden.

Typområden torvbildande våtmarker samt åtgärdsförslag

I syfte att åskådliggöra vilken geologi som man kan förvänta sig i anslutning till olika våtmarksområden följer här en beskrivning av ett antal typområden samt en diskussion kring möjligheten till åtgärder för att stärka vattentillgången.

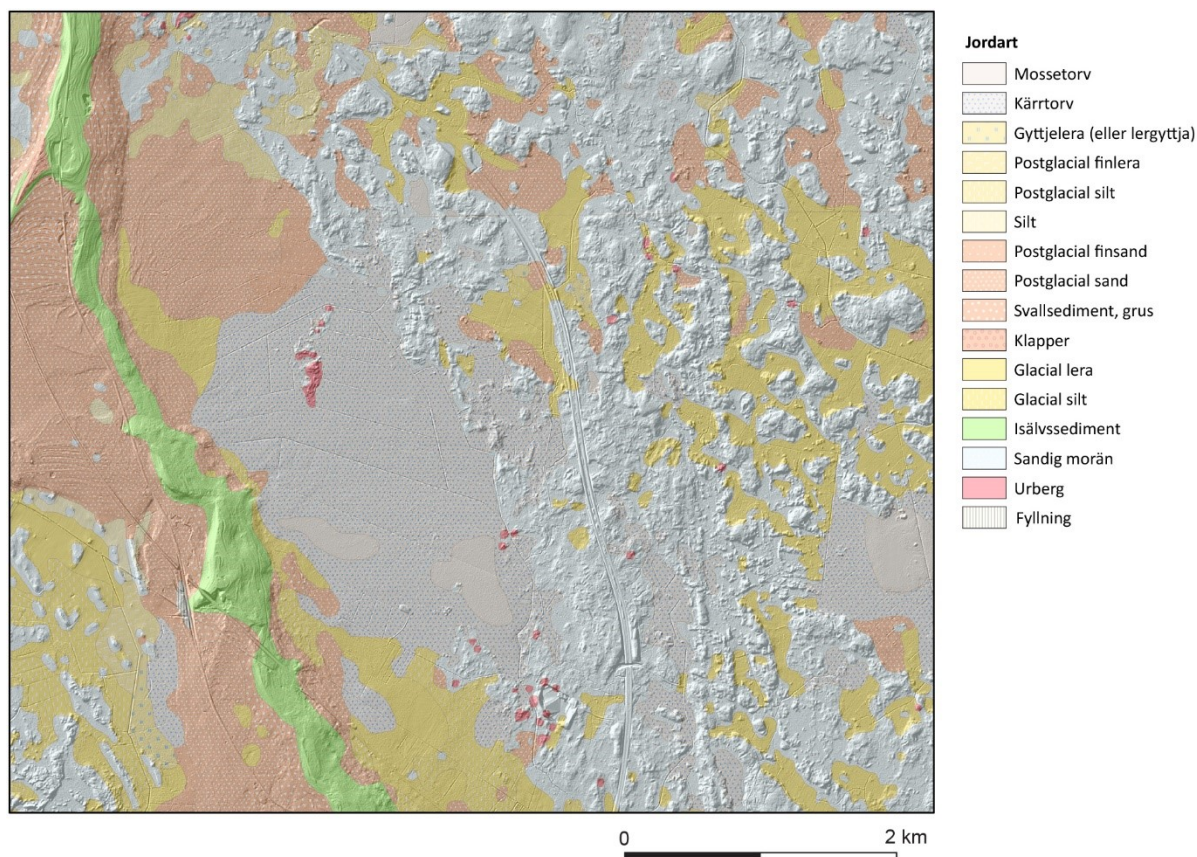
Torvmarker som angränsar till åsmagasin och underlagras av tunna lerskikt

Ett typområde är torvmarker vilka underlagras av tunna lerlager och som angränsar till åsmagasin (se fig. 8 och 9). Här kan våtmarker ha bildats antingen med stöd av utläckande grundvatten från åsen eller genom att en sjö har vuxit igen. I båda fallen har våtmarken inletts med ett kärrstadium vilket helt eller delvis är beroende av ett utflödande grundvatten. Ett sådant kärr kan med tiden övergå till en mosse.

Våtmarken är i regel också underlagrad av ett tätare material, som i områden under högsta kustlinjen främst består av lera. Här kan en dränering i våtmarken ha medfört att man sänkt grundvattennivån både i våtmarken och i det angränsande åsmagasinet. För att bedöma om en utdikning även kan ha påverkat grundvattennivån i det angränsande åsmaterialet är det t.ex. viktigt att veta hur lerlagret ser ut under torven och hur djupt man dikar.

För att stärka vattentillgången i den här typen av miljö kan man med fördel förhindra att det sker en fortsatt dränering av åsens grundvatten om en sådan sker (lägga igen diken).

Man kan också överväga möjligheten att infiltrera ytvatten i åsen genom konstgjord grundvattenbildning, dvs. återanvända det vatten som avvattnar våtmarken eller, om möjligt, eventuellt komplettera med ytvatten från angränsande områden om sådant finns.



Figur 9. Torvmark i anslutning till större isälvsvlagring så som den framträder i jordartskartan förstärkt med Lantmäteriets höjddatabas.

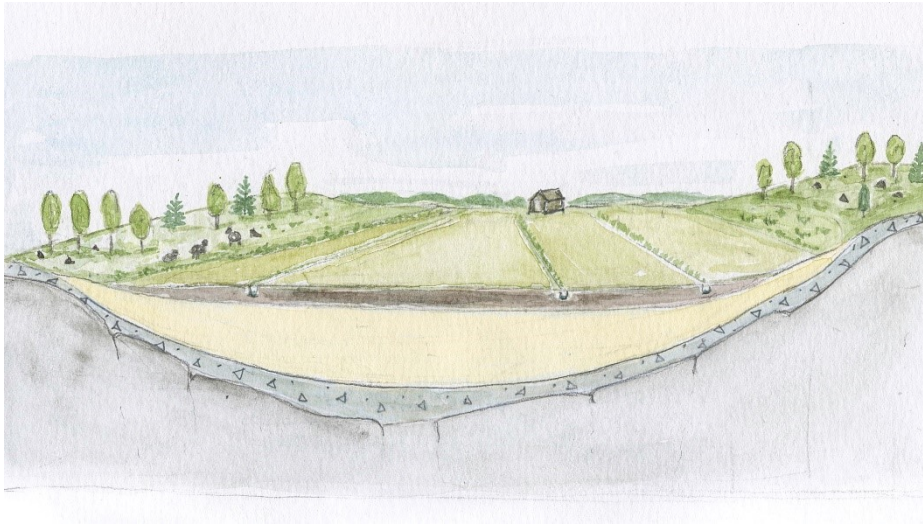
Utdikade torvmarker underlagrade av mäktiga lerlager

Ett annat typområde är torvmarker underlagrade av mäktiga lerlager (se fig. 10 och 11). Dessa återfinns främst i områden som ligger under högsta kustlinjen (HK). Att området ligger under HK innebär att området under någon period, under eller efter den senaste istidens avsmältnings-skede, legat under havsytans nivå. Under denna period har finkornigt sediment, främst i form av lera, avsatts på havsbotten. Genom landhöjningen har områdena under HK successivt torrlagts varvid våtmarker och sjöar bildats i sänkor i landskapet. Sjöar fylls successivt upp med sediment och torv, vilket gör att de med tiden övergår till att bli våtmarker. Hur mäktiga lerlagren under torvmarken är beror bland annat på den underlagrande berggrundens topografi. Leröverytans plattighet kan ge stöd i bedömningen om djupet på lerlagren. Stora platta ytor tyder på att lerlagren är flera meter mäktiga. Är landskapet småkuperat är det vanligt att det sticker upp moränholmar i leran.

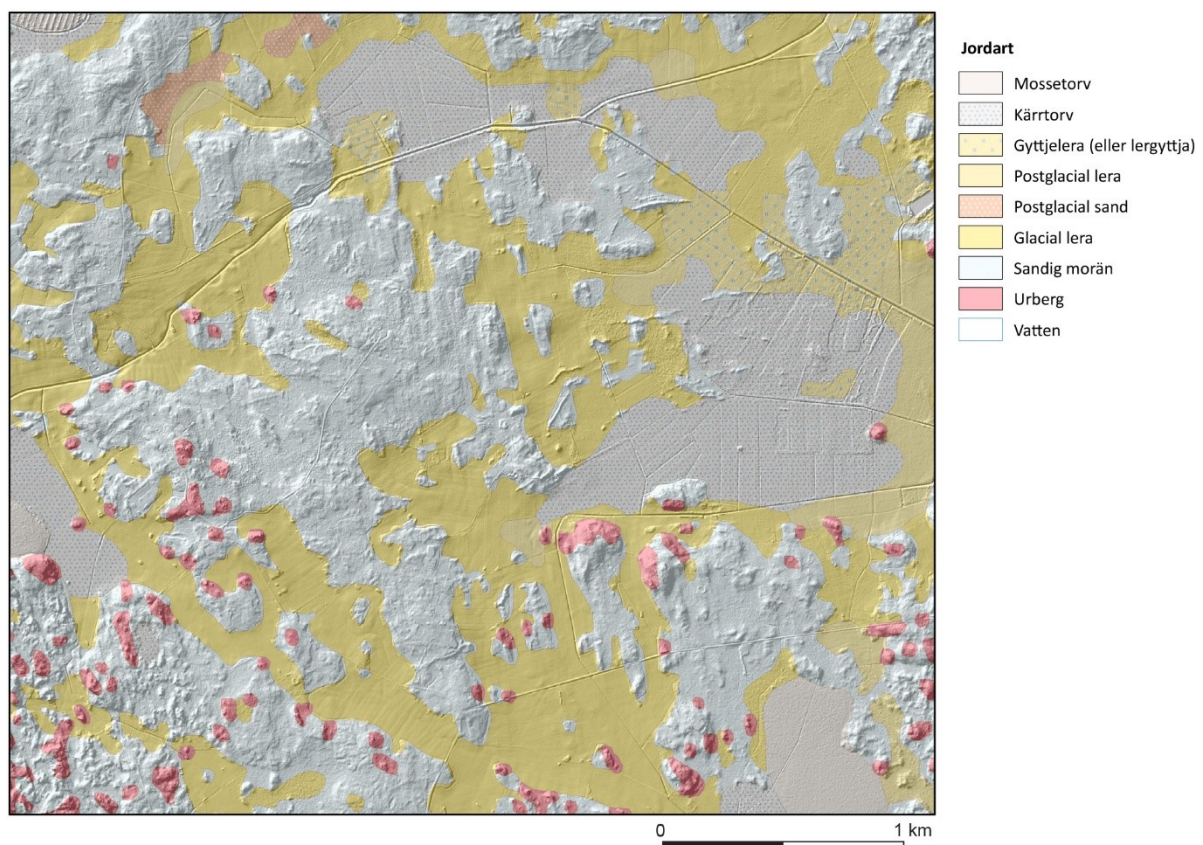
Såväl lerområdena som torvmarkerna i områdena under HK har ofta utdikats för att förbättra möjligheterna att bedriva jord- och skogsbruk. En annan orsak till utdikning kan vara utbrytning av torv. Då marken dikas sjunker grundvattenytan vilket gör att speciellt organiska jordar som torv kompakteras och börjar oxidera. Det gör att markytan sjunker ihop vilket i sin tur gör att diken måste fördjupas varefter grundvattenytan sjunker ytterligare.

Mot bakgrund av att våtmarker i dessa områden omges av finkorniga jordar med låg genomsläpplighet för vatten, så är möjligheterna inga eller ringa att öka grundvattentillgången genom att lägga igen diken. Eftersom topografin i dessa områden är flack så kan igenläggning av diken leda till att stora arealer sätts under vatten fast nyttan av en sådan åtgärd blir begränsad.

Ett alternativ till att täppa igen diken som påverkar större områden kan vara att låta göra fördjupningar i torven och eventuellt ner i underlagrande lera. Där kan man skapa lokala vattenspeglar varifrån man kan ta vatten för bevattning, som ersättning till grundvattenuttag. Ett annat alternativ kan vara att anlägga dammar.



Figur 10. Torvmark (brunsvart färg) underlagrad av mäktigt lager med lera (gul färg). I kanten av lerlagret ses moränen gå i dagen.

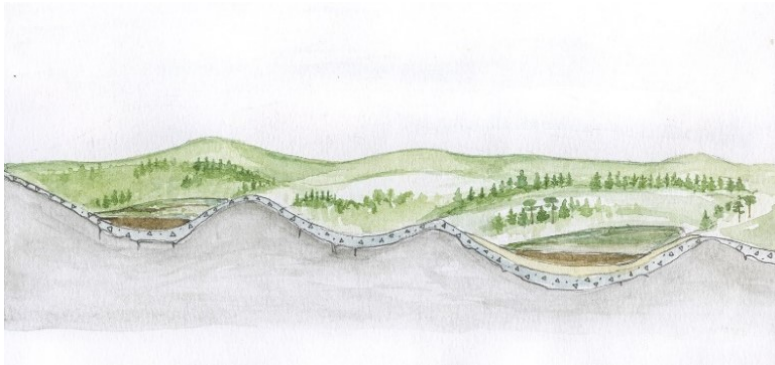


Figur 11. Torvmark underlagrat av mäktiga lerlager så som den framträder i jordartskartan förstärkt med Lantmäteriets höjddatabas.

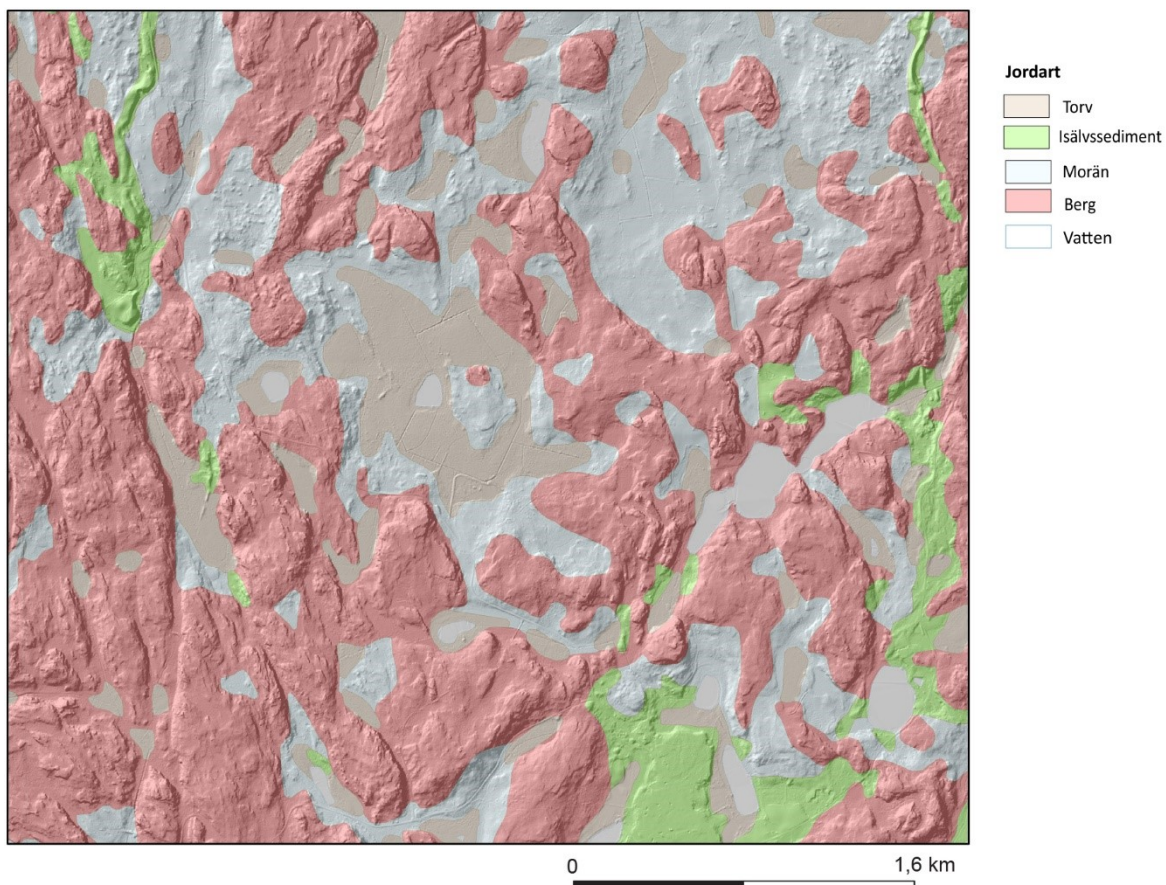
Kärrtorvmarker i småkuperad skogsterräng dominerad av hällar och morän

Uppe i den mer småkuperade terrängen finner vi torvmarkerna som bildats antingen till följd av försumpning av sjöar eller till följd av utströmmande grundvatten eller båda (se fig. 12 och 13). Om de är belägna under HK så kan tunnare lerlager förekomma under kärrtorven. Även dessa kan ligga i angränsning till en isälvsavlagring.

Möjliga åtgärder för att uppehålla vatten i ett småkuperat landskap kan vara igenläggning av diken och anläggning av dammar men i regel finns små förutsättningar för att skapa en ökad grundvattentillgång. Eftersom dessa torvmarker innefattar små volymer kan man inte heller förvänta sig att en restaurering ger någon betydande effekt, gällande att dämpa stora vattenflöden.



Figur 12. Torvmarker i ett småkuperat landskap. Torvmarken till höger underlagras av ett lager lera (gul färg) medan torvmarken till vänster ligger direkt på morän.



Figur 13. Torvmarker i ett småkuperat landskap med berg (rödrosa områden) och morän (gråblå områden) som de framträder i jordartskartan förstärkt med Lantmäteriets höjddatabas.



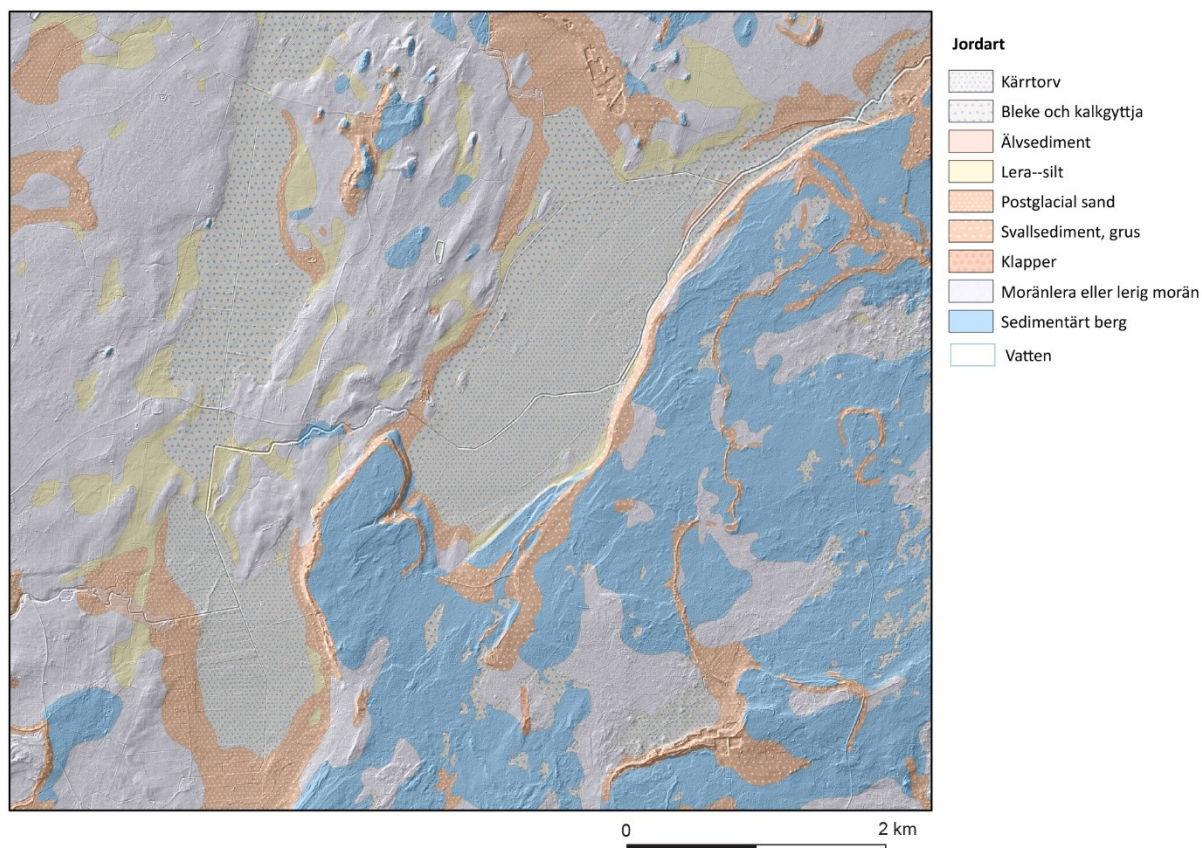
Figur 14. Torvmark på sandigt material underlagrat av kalksten.

Torvmark vilka underlagras av genomsläppliga jordarter såsom sand och grus

I vissa områden kan torvmarker återfinnas direkt på större sandområden. På liknande sätt som vid åsmagasinen kan våtmarker här ha bildats i utströmningsområden av utläckande grundvatten med ursprung i högre liggande områden, eller i lågpunkter genom att en sjö har vuxit igen.

Exempel på denna områdestyp finns på Öland och Gotland där sand- och grusavlagringar bildats genom den erosion av vågor och strömmar som skett och alltjämt sker allteftersom landskapet torrläggs, som en följd av landhöjningen. Detta i kombinationen med den flacka terrängen på dessa öar gör att det finns relativt ont om svackor i terrängen där lera kunnat ackumulera trots att områdena ligger under HK. Istället finns på vissa platser plana sandområden inom vilka utdikade våtmarker förekommer som ligger direkt på, eller i anslutning till, de genomsläppliga sand- och gruslagren (se fig. 14 och 15). Men naturligtvis finns också torvområden som underlagras av gytta eller lera.

De våtmarker som tidigare förekommit på Öland och Gotland har i stor utsträckning dikats ut för att möjliggöra uppodling (Dahlqvist m.fl. 2017). Eftersom landskapet här är platt är diken långa och djupa och sträcker sig även genom områden som aldrig utgjort våtmark. Genom att höja vattennivån i dessa diken kan det vara möjligt att förbättra tillgången på vatten även i områden som inte ligger i direkt anslutning till våtmarkerna.

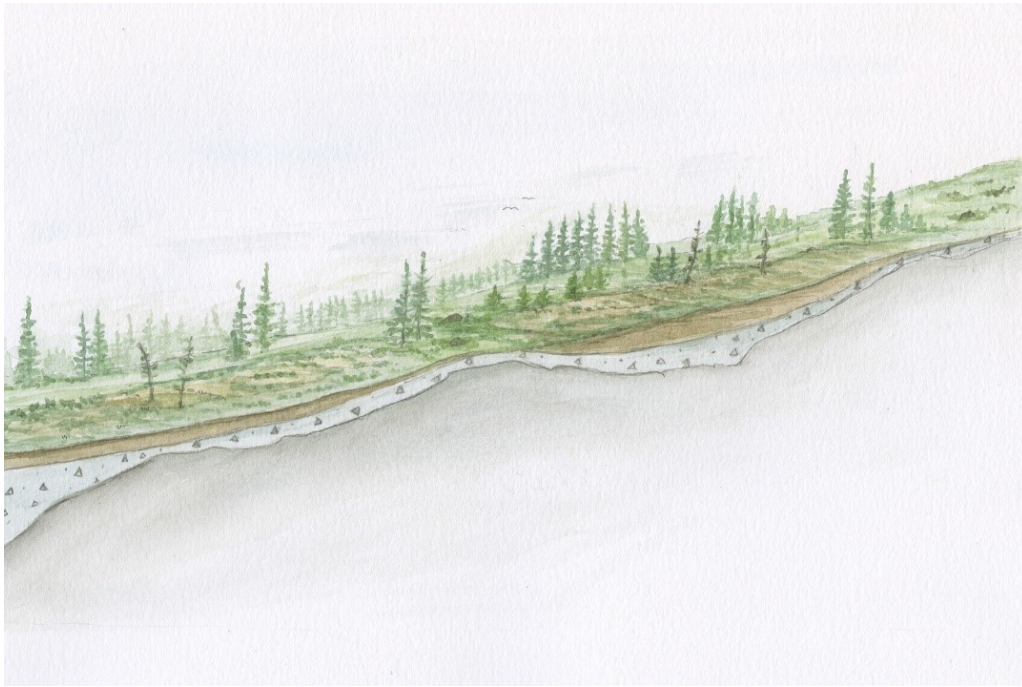


Figur 15. Torvmarker i områden med svallsand (orange färg) och morän (gråblå områden) som den framträder i jordartskartan förstärkt med Lantmäteriets höjddatabas.

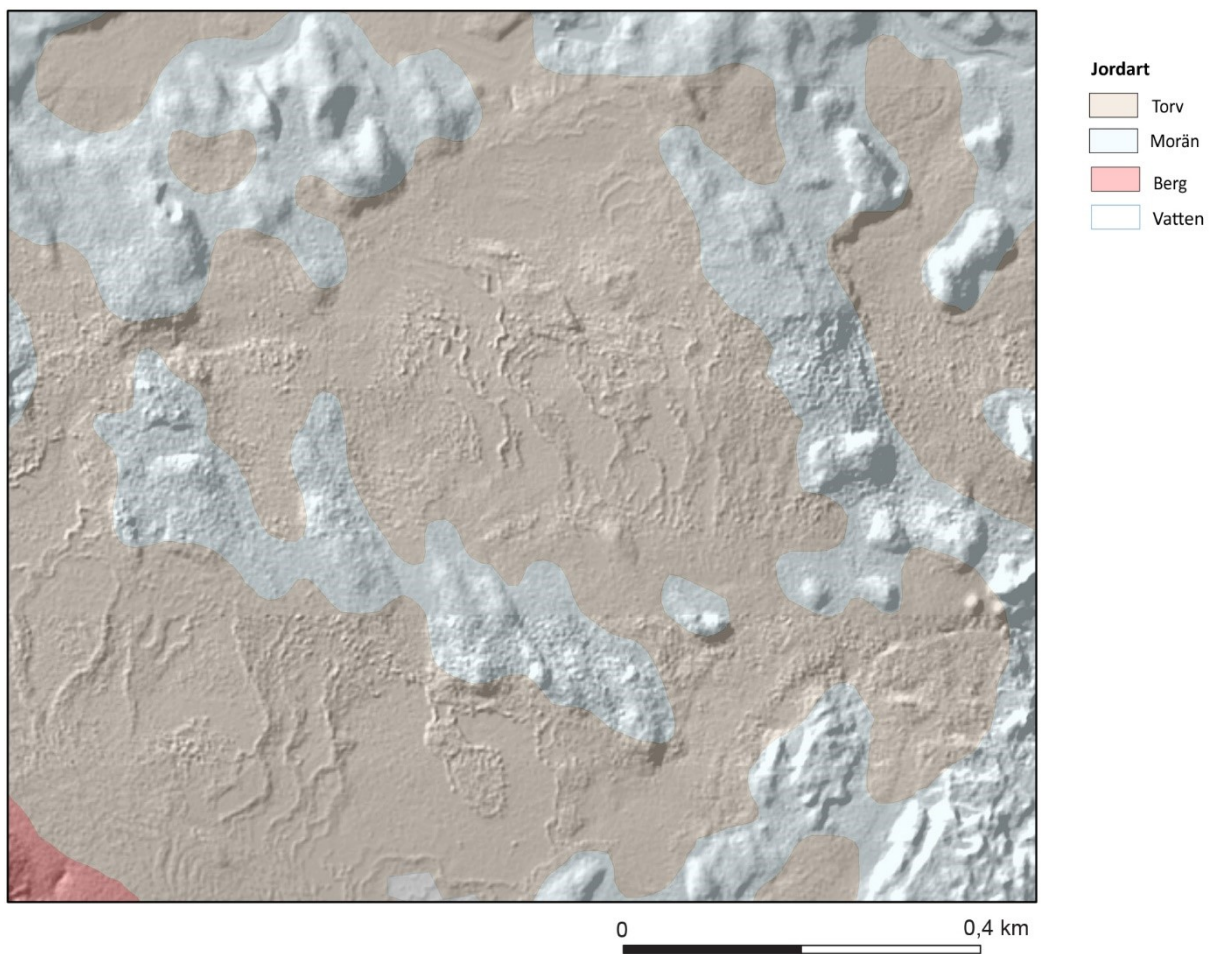
Sluttande torvmarker i moränterräng

I stora delar av norra Sverige är grundvattenbildningen stor och likaså utflödet av grundvatten. Det gör att det i många områden uppstår torvmarker även i sluttande terräng (se fig. 16 och 17). Dessa torvmarker innefattar i vissa fall en mosaik av mossar och kärr inom samma våtmarksområde där högre, relativt torra och ofta långsmala områden utgör mossepartier (strängar) medan lägre, flacka och blötare områden utgör kärr (flarkar). I de fall lutningen är tillräckligt stor, > 8 graders lutning, så benämns våtmarkstypen backkärr (Naturvårdsverket 2009 b).

I de sluttande torvmarkerna är behovet av åtgärder troligen mindre ur ett vattenbristperspektiv till följd av den ofta rika grundvattentillgången, men även här kan det finnas skäl att vidta åtgärder. Ett exempel kan vara om det skett dikningsåtgärder som avskärmat flöden till värdefulla källmiljöer. Dessa källor kan t.ex. vara av värde för vattenförsörjning i de fall de används som vattentäkt eller ha ett stort naturvärde.



Figur 16. Sluttande torvmarker, så kallade backkärr, underlagrade av morän.



Figur 17. Torvmarker i sluttande moränterräng så som de kan framträda i jordartskartan förstärkt med Lantmäteriets höjddatabas.

ERFARENHETER FRÅN VÅTMARKSRESTAURERING

Det är få studier (förutom modelleringsstudier) som tittat på hydrologiska effekter, dvs. hur vattennivåer och -flöden påverkas, av åtgärder kopplade till våtmarksåtgärder. En försvårande faktor i detta sammanhang är att tiden för återhämtning av en restaurerad våtmark kan vara så lång som 15–50 år (Mitsch & Wilson 1996). Det finns dock några erfarenheter att ta lärdom av för att få en bättre förståelse för vilka utmaningar som kan uppstå. Här lyfter vi fram några studier som berör frågor om våtmarkers förmåga att stärka vattentillgången och relationen mellan detta och de geologiska förutsättningarna. Några av studierna har som främsta mål att lyfta frågor som är kopplade till förmågan att stärka vattentillgång och frågor som rör de geologiska förutsättningarna.

I en studie utförd i Florida, USA, jämförde Sonnier m.fl. (2018) grundvattennivå och antal dagar med översvämning före och efter restaurering av två våtmarker (190 respektive 113 hektar stora) belägna i olika avrinningsområden. Syftet med restaureringen var att höja vattennivån och öka antal dagar med översvämning inom våtmarkerna. Åtgärderna innefattade bland annat blockering av diken och uppförande av vattenkontrollerande inrättningar vid de största utflödena från våtmarkerna. I och utanför varje våtmark mättes grundvattennivån i nio brunnar under en tidsperiod av totalt 11 år – 5 år innan och 6 år efter restaureringen. Resultaten visade att åtgärderna genererade en ökad grundvattennivå och fler dagar med översvämningar i den större, plattare våtmarken medan en oförändrad situation observerades i den mindre, mer kuperade våtmarken. Författarna diskuterar kring att resultaten med oförändrad vattenstatus i den mer kuperade våtmarken kan bero på att brunnarna i där var olämpligt placerade (långt i terrängen) eftersom de blev översvämmade både före och efter restaureringen. Det är möjligt att resultaten hade blivit annorlunda om brunnarna placerats högre upp i terrängen i den mer kuperade våtmarken.

Wilson m.fl. (2010) utförde en studie i Mid-Wales, Storbritannien, där 100 000 meter diken, uppdelade i fyra delavrinningsområden i en våtmark, blockerades under åren 2007–2010. För att undersöka effekterna övervakades grundvattennivå, förekomst av ytvatten, flödeshastighet och nederbörd. Slutsatsen i studien är att åtgärden ökade våtmarkens vattenhållande förmåga, då resultaten visar på tydliga skillnader i områdets hydrologi före och efter åtgärden. De förändringar som observerades i våtmarken var bland annat att extrema fluktuationer i grundvattennivå försvann sommartid och blev svagare vintertid, att medel- och maxvattenföring i både diken och vattendrag minskade, och en generell höjning – om än liten sådan (i genomsnitt ca 2 cm) – av grundvattennivån. Wilson m.fl. (2010) konstaterar att deras studie uppvisar en generellt ökad grundvattennivå inom åtgärdsområdet i kombination med färre och lägre maxflöden och att detta resultat skiljer sig från vissa andra studier, där en höjd grundvattennivå inte nödvändigtvis sammanfaller med färre och dämpade maxflöden.

En annan slutsats från Wilson m.fl. (2010) är att den stora variationen mellan de olika delavrinningsområdena, vad gäller hur snabbt grundvattennivån och ytvattenutbredningen svarade på åtgärdsinsatserna, tyder på att platsspecifika egenskaper (såsom t.ex. topografi, storlek på avrinningsområde och torvstruktur) påverkar återhämtningspotentialen och -tiden hos våtmarker. Författarna framhåller vidare att återhämtningen hos restaurerade våtmarker kan ta betydligt längre tid än varaktigheten hos många övervakningsprogram.

Gällande effekterna av våtmarksrestaurering på vattnets kvalitet sammanställde Acreman m.fl. (2007) utgång och erfarenheter av olika fallstudier i Europa. Resultaten visade att en återskapad våtmark till en början kan hamna i obalans vad gäller t.ex. näringsämnen och därmed få sämre status, kemiskt och ekologiskt, innan våtmarksfloras fysiska och kemiska funktioner har hunnit anpassa sig till områdets nya hydrologi.

I en studie av Lundin m.fl. (2016) studerades återställningen av tre stycken torvtäktsområden till restaurerat täktområde där man genom återvätning låtit områdena återgå till våtmarker och i förlängningen till ny myr. Två av de studerade områdena ligger i Örebro län och ett i Västmanlands län. Undersökningarna inriktades på hydrologi, mark, vattenkemi, vegetation och växthusgaser och startade i slutfasen av täktverksamheten och följde sedan tillstånd och processer i tillskapad våtmark. Vattenförhållandena ändrades från det dikade tillståndets vattennivåer några decimeter under markytan till ett ytvatten med i flera delar 0,5–1,5 meters djup. Grundvattenförhållandena påverkades av höjd vattennivå i våtmarkerna men ändringen utanför (50–100 m) var liten, möjligen någon decimeter. På kortare avstånd däremot var ändringen större och det noterades 0,2–0,3 meter högre nivå på 30–50 meters avstånd. Omgivande jordarter i de tre studerade områdena är enligt SGUs jordartskarta övervägande morän.

FÖRBEREDANDE OCH UPPFÖLJANDE ÖVERVAKNING

Vid genomförande av våtmarksrestaureringsåtgärder med vattenförsörjningsfrämjande syften är det önskvärt att även genomföra uppföljande övervakning. Insamling av övervakningsdata möjliggör att effekterna av de insatta åtgärderna kan följas upp, vilket kan vara önskvärt dels för att kunna mäta i hur stor utsträckning syftet med åtgärden uppfylls och dels för att kunna verifiera att ingen negativ omgivningspåverkan skett som följd. Övervakningsprogram är med andra ord en förutsättning för att våtmarksåtgärder ska kunna utvärderas. Vidare kan övervakningsdata ge ett värdefullt underlag i dialoger med parter vars mark eller verksamheter skulle kunna komma att påverkas av de ingrepp som görs i samband med restaureringen.

Att utföra delar av övervakningen redan innan den aktuella åtgärden påbörjas kan, förutom att ge referensdata, även hjälpa till att klargöra de hydrauliska förhållandena i området. Detta kan i sin tur ge information om hur åtgärden kan utformas effektivt och sedan ge stöd i hur övervakningen senare under projektet bör läggas upp. Övervakning som sker under själva genomförandet av åtgärden kan också bidra till upptäckter som kan leda till gynnsamma justeringar i utförandeplanen. Slutligen är det viktigt att beakta återhämtningstiden hos våtmarksområdet (dvs. tiden det tar för hydrologin och ekosystemet att förändras samt stabiliseras efter en åtgärd) vid planeringen av hur länge övervakningsprogrammet ska pågå, så att resultaten kan utvärderas korrekt.

Ett av övervakningens huvudsyften är, som nämnts, att möjliggöra en utvärdering av genomförda åtgärders resultat. I detta avseende är det klokt att tidigt i ett åtgärdsprojekt fundera över vilken funktion hos våtmarken som är tänkt att stärkas, för att vidare kunna göra sig en bild av hur detta på ett lämpligt sätt skulle kunna övervakas.

Då det gäller att minska vattenbrist kan följande funktioner för våtmarksåtgärder identifieras: (i) avlasta vattenförsörjningen, (ii) stärka grundvattentillgången eller (iii) balansera vattenflöden.

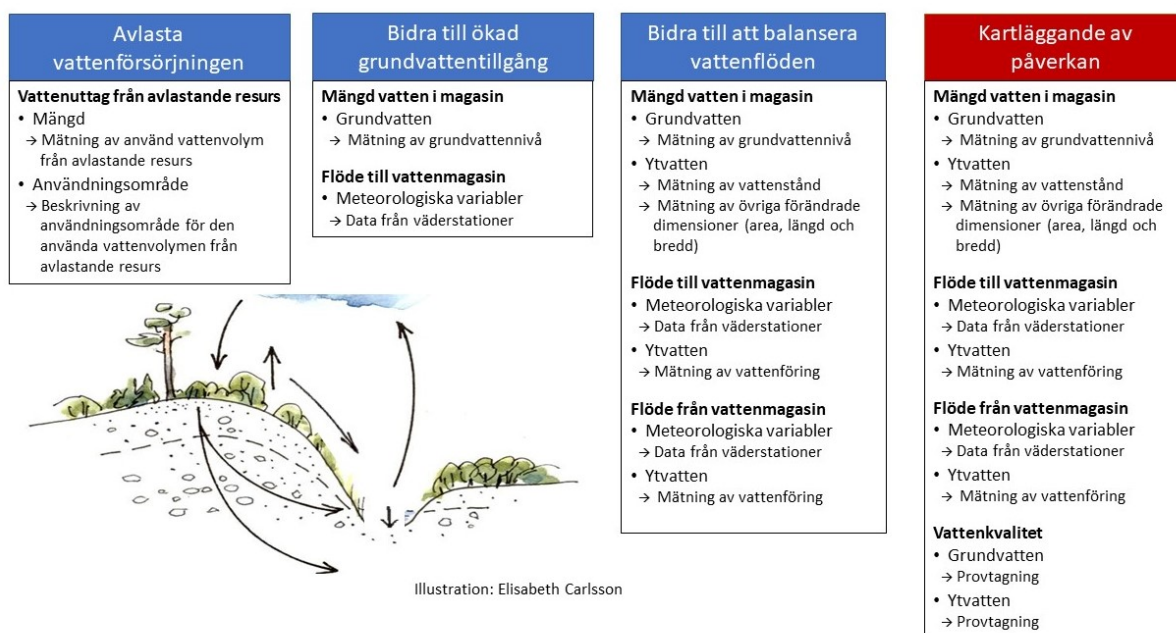
Om en åtgärd syftar till att ”avlasta vattenförsörjningen” kan övervakningen hållas relativt enkel. Frågorna som behöver besvaras i detta fall är om användning av vatten har skett från den avlastande resursen som åtgärden skapat, och i vilken mängd. Insamling av ytterligare information, t.ex. om vad vattnet använts till eller varför förväntad användning uteblivit, kan även möjliggöra uppskattningar av vad som kan uppnås med fler liknande åtgärder i olika områden.

Syftar åtgärden däremot till att ”stärka grundvattentillgången” så behöver övervakningen innefatta faktiska mätningar av grundvattenmängden i området för att resultaten ska kunna följas upp. Grundvattennivåer bör alltså mätas och för att kunna filtrera bort variationer som inte härstammar från åtgärden bör uppgifter om nederbörd också samlas in tillsammans med referensdata av grundvattennivåer uppströms anläggningen.

Om åtgärden syftar till att ”balansera vattenflöden” så stiger eventuellt komplexitetsgraden på övervakningen ytterligare eftersom variabler kopplade till både grundvatten och ytvatten behöver observeras, då både in- och utflöde av vatten i åtgärdsområdet är av betydelse för resultatet.

För att slutligen fullständigt kunna bemöta den andra delen av övervakningen – att i bred aspekt ”kartlägga åtgärdens påverkan på omgivningen” – bör även förändringar i vattnets kvalitet följas upp. Den kemiska övervakningen kan eventuellt behöva göras både direkt i åtgärdsområdet och i närområdet utanför.

Övervakningen av en våtmarksåtgärd kan med andra ord bli både enkel och komplex. Det generella rådet är att titta på vilken typ av åtgärd som ska utföras, vilken funktion hos våtmarken den ska stärka och sedan försöka sätta detta i relation till de platsspecifika geologiska och hydrologiska betingelserna, dvs. hur systemet förväntas reagera på ingreppet. Utifrån en sådan konceptuell modell kan sedan de variabler som bör följas upp definieras och vidare kan planen för var, hur och när data bör samlas in utformas. En bild som sammanfattar vilka variabler som kan behöva övervakas, kopplat till de olika funktioner som våtmarksåtgärder kan ha inom arbetet med att minska vattenbrist, visas i figur 18.



Figur 18. Sammanfattande bild över vilka variabler som kan behöva övervakas vid våtmarksåtgärder som på olika sätt syftar till att minska vattenbrist.

Utförande av grundvattenrelaterad övervakning

Följande råd fokuserar på övervakning av grundvattnets kvalitet och kvantitet. Ytterligare information som kan användas som stöd finns i miljöövervakningens undersökningstyper för övervakning av sötvatten (HaV 2018a, HaV 2018b).

Plats

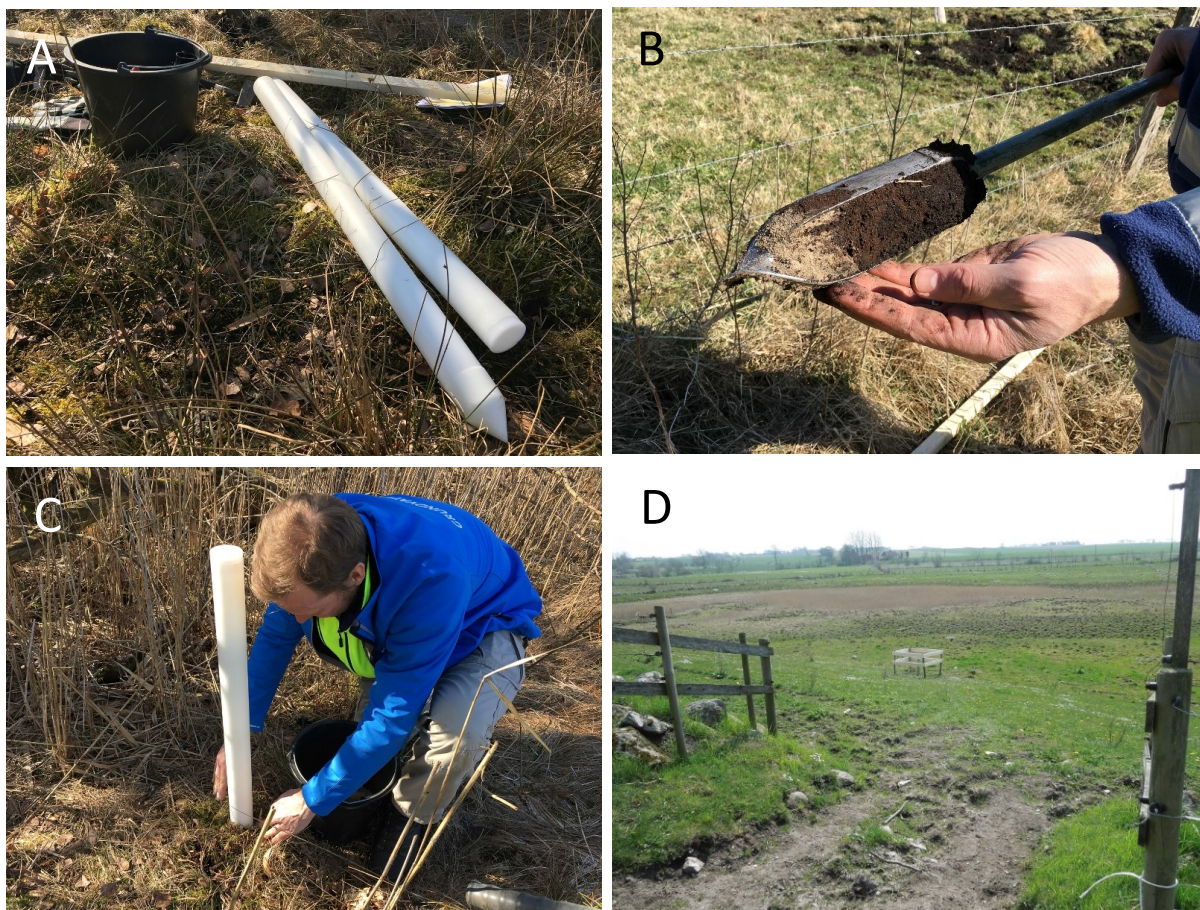
Det första steget i att utforma ett program för övervakning av grundvattnets kvantitet och kvalitet är att skapa sig en förståelse för åtgärdsområdets geologi och hydrologi. Därefter, baserat på en genomtänkt idé gällande vattnets vägar och respons på förändringar i systemet, kan sedan lämpliga observationspunkter för mätning och provtagning väljas ut. Det är i detta sammanhang viktigt att säkerställa att varje vald observationspunkt representerar den specifika hydrogeologiska miljö man eftersträvar att övervaka, i alla rumsliga dimensioner. Man bör ta reda på vilket djup som ett grundvattenrörs filter sitter, samt jordartslagerföljden ner till detta djup, för att kunna veta vilken trycknivå som vattenpelaren i röret representerar.

Som observationspunkter i ett övervakningsprogram bör man överväga att inkludera platser där:

- effekten av åtgärden förväntas kunna mätas eller provtas
- en referens till effekten av åtgärden kan mätas eller provtas
- den yttre gränsen för påverkansområdet bedöms ligga
- skyddsvärda objekt finns (t.ex. enskilda vattentäkter eller källor).

Inventera först om det redan finns befintliga brunnar, grundvattenrör eller källor inom, eller i närheten av, åtgärdsområdet som skulle kunna användas för observationspunkter. I andra hand kan nya grundvattenrör sättas. Vid val av plats för etablering av nya rör är tillgängligheten viktig att tänka på. Beroende på de hydrogeologiska förhållandena kan etableringen behöva göras med borrhandsvagn, vilket kräver framkomlighet för lastbil relativt nära platsen. I andra fall kan rörsättning göras för hand – en metod att föredra i våtmarksområden där grundvattenytan ligger högt och marken är sank (Se fig. 19 a–d). Överväg vilken tidpunkt på året som är mest lämplig med tanke på exempelvis markens beskaffenhet, växtlighet och skyddsvärden vid etablering av nya rör. Ta också reda på vem som äger marken för att få tillstånd och sök dispenser från skyddsföreskrifter om sådana finns. I de fall etablering ska utföras med borrhandsvagn är det även viktigt att kontrollera eventuella befintliga ledningar på platsen. Som material till grundvattenrör kan en mängd olika former av metall eller plast användas – med olika fördelar gällande livslängd, benägenhet att påverka vattnets kemi och kostnad. Valet av rörmaterial bör baseras på en avvägning mellan de behov och begränsningar som finns inom det aktuella övervakningsprogrammet, med tanke på nyss nämnda aspekter.

Källor med tydligt flöde utgör ofta bra provtagningsplatser för övervakning av grundvattnets kvalitet, då vattnet kan komma från ett relativt stort upptagningsområde och konstant rinner färskt ur marken. Då källor dessutom i sig själva utgör skyddsvärda objekt bör man följa upp att en åtgärd som förändrar hydrologin i ett område inte skadligt gör åverkan på närliggande källflöden. Finns det brunnar som används som enskilda vattentäkter inom ett åtgärdsområde bör man på samma vis följa upp effekten på dessa och säkerställa att ingen negativ påverkan skett. Brunnar kan med fördel användas för övervakning av både grundvattnets nivå och kemi, men vid vattenprovtagning är det viktigt att se till att vattnet är ordentligt omsatt och att inte brunnens eget uttag påverkar utvärderingen (t.ex. genom förändring av grundvattennivån).



Figur 19 A–D. a) PVC-rör i eneterslängder. b) Spadborr med jordkax som visar övergången mellan torv och underliggande sand. c) Tvättad sand packas utmed rörets sidor för att det ska bli stadigt. d) Ett inhägnat grundvattenrör. Foto: 19 a–c Magdalena Thorsbrink, 19 d Jan-Åke Nilsson.

Tid och frekvens

Gällande tid och frekvens för insamling av övervakningsdata bör man tänka på att ett övervakningsprogramms uppstart, avslut och intensitet helst ska ge information om grundvattnets tillstånd och beteende före, under och efter den åtgärd som ska följas upp. I detta sammanhang är det viktigt att inte glömma bort att åtgärdsområdet behöver tid för att svara på förändringar och komma i balans.

Vidare är det viktigt att anpassa övervakningsfrekvensen till hur snabb- eller långsamreagerande grundvattenmagasin som berörs av åtgärden är. I de fall grundvattenmagasinet i fråga är långsamtreagerande (exempelvis en större isälvsavlagring) sker nivåförändringar långsamt och mätningar behöver därför inte göras så ofta. Inom den här typen av magasin kan en frekvens av en mätning per månad (vilket motsvarar vattenförvaltningens minimumkrav för datainsamling i por-magasin) vara rimlig. I snabbreagerande grundvattenmagasin (exempelvis morän) är å andra sidan responsen på nederbörd och avdunstning snabb och nivåerna följer generellt ett tydligt årstidsmönster. Inom små grundvattenmagasin bör därför mätningar utföras relativt tätt för att grundvattnets nivåförändringar ska kunna följas. För att t.ex. kunna följa dygnsvariationer i små grundvattenmagasin kan en övervakningsfrekvens av fyra mätningar per dygn vara lämplig.

När det gäller övervakning av vattnets kvalitet så rekommenderas inom den nationella miljöövervakningen att provtagningar görs med en frekvens av 2–4 gånger/år, för att den kemiska inomårsvariationen ska kunna fångas upp.

Mätmetoder och variabler

För övervakning av grundvattennivåer finns såväl manuella som automatiska lösningar och valet av metod bör baseras på behovet av mätfrekvens och resurserna som finns att tillgå i projektet. Finns behov av tätare mätningar är en automatisk nivågivare att föredra. En automatisk nivågivare kostar mer än den utrustning som kan användas vid manuell mätning, men kan samtidigt spara mycket dyrbar arbetstid.

När det gäller vattenprovtagning är det framför allt viktigt att samma provtagnings- och analysmetoder nyttjas såväl innan som efter åtgärd så att jämförbarheten i datat säkerställs.

Det generella rådet, gällande vilka variabler som bör övervakas, är att utgå från den potentiella effekt och påverkan en åtgärd kan komma att ha på ett område i teorin och sedan fundera på hur de olika aspekterna av detta kan mätas. För övervakning av hur grundvattnets kvantitet förändras är det grundvattennivån som är variabeln man bör följa. Beträffande övervakning av hur grundvattnets kvalitet förändras så kan man behöva fundera på vad som kan lakas ut, spädas ut et cetera, när grundvattennivån förändras.

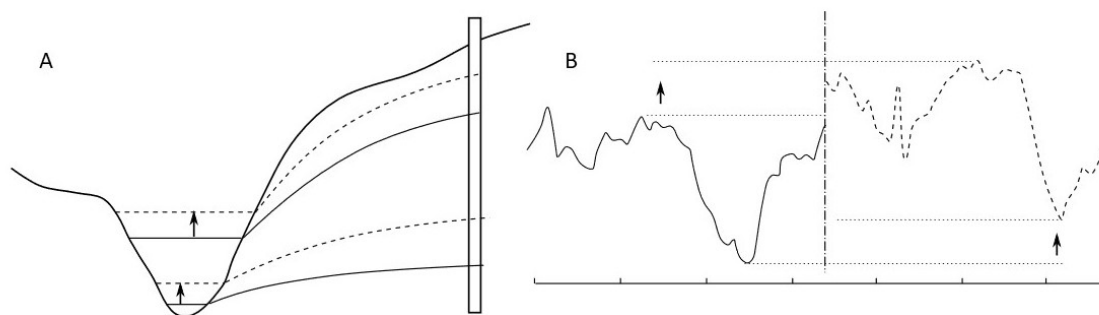
Oavsett vad som övervakas och vilken metod som används är det ofta, vid tolkningen av insamlade data, till stor hjälp om kringinformation rörande platsen och tillfället för mätningen/provtagningen noterats. Exempel på sådana uppgifter som kan ge viktigt tolkningsstöd är grundvattennivå/-flöde, markanvändning, dikningsförhållanden, väderlek, omsättningsgrad med mera.

Utvärdering

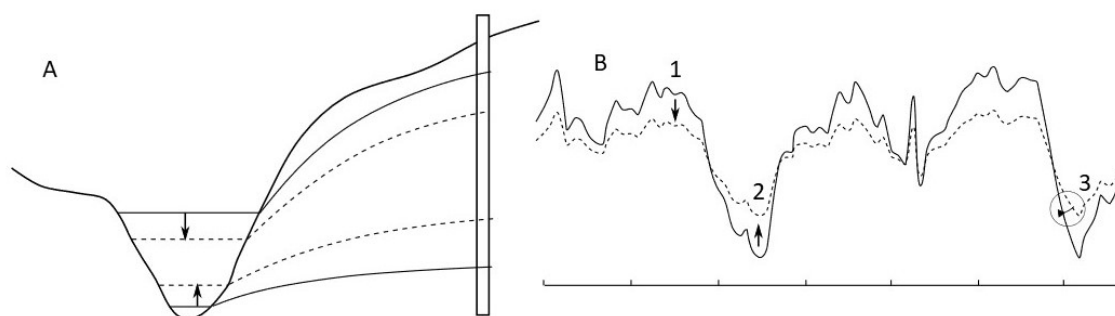
Vid utvärdering av insamlade data är det viktigt att tänka på att effekter som inte beror på åtgärden kan behöva filtreras bort. Vid uppföljning av grundvattennivåer är detta något som kan försvåra utvärderingen och en lång övervakningsserie innan åtgärden genomförs kan i vissa fall vara nödvändig för att en effekt skall kunna tydliggöras. Finns närliggande referensstationer med långa tidsserier (exempelvis från SGUs grundvattennät) så kan man i gynnsamma fall använda dessa för att skapa bättre referensdata bakåt i tiden. Metodik för detta beskrivs bland annat av Chester Svensson i hans avhandling om grundvattennivåobservationer (Svensson 1984).

Den inverkan som en åtgärd har på grundvattennivåer är naturligtvis beroende på de ingrepp som görs. Vid åtgärder som syftar till ökad grundvattentillgång kan man rent konceptuellt tänka sig ett uppåtgående skift i grundvattnets nivåmönster (fig. 20), dvs. att högre nivåer observeras efter åtgärden under både torra och blöta perioder. Efter åtgärder som fokuserar på att balansera flöden kan man istället tänka sig att grundvattnets nivåvariation, mellan torra och blöta perioder, minskar (fig. 21). En förväntad effekt kan vara att toppar och dalar i nivåkurvan utjämnas och minskar (se svarta pilar) samt att recessionsfaktorn, dvs. lutningen under avsänkingsperioder försvagas.

Vid utvärdering av kemiska övervakningsdata är det viktigt att tänka på att grundvattnets kemiska sammansättning varierar över tid och rum och påverkas av naturliga processer såväl som mänsklig påverkan. Referensprov är nödvändiga för att en åtgärds inverkan på grundvattnets kemi ska kunna urskiljas och man bör vid jämförelsen mellan analyser tänka på att koncentrationer av vissa ämnen kan variera över året. Vid utvärdering av analysresultat från grundvattenprovtagningar gjorda i samband med våtmarksåtgärder finns tolkningsstöd i SGUs Bedömningsgrunder för grundvatten (SGU 2013).



Figur 20A–B. Konceptuell förändring i grundvattennivåvariationer vid åtgärder som syftar till ökad grundvattentillgång. Heldragen linje före åtgärd. Streckad linje efter åtgärd. **A.** Visar profil med nivåvariation i ytvatten och intilliggande grundvattenrör. Effekt förväntas främst i direkt anslutning till åtgärden. **B.** Nivåobservationer över tid (hypotetiskt). Åtgärden skapar ett uppåtgående skift i grundvattnets nivåmönster.



Figur 21A–B. Konceptuell förändring i grundvattennivåvariationer vid åtgärder som syftar till att balansera vattenflöden. Heldragen linje före åtgärd. Streckad linje efter åtgärd. **A.** Visar profil med nivåvariation i ytvatten och intilliggande grundvattenrör. Kräver omfattande referensmätningar och effekt förväntas mest nedströms åtgärd. **B.** Nivåobservationer över tid (hypotetiskt). Toppar och dalar utjämnas och minskar (1 och 2) och lutningen under avsänkingsperioder försvagas (3).

REFERENSER

- Acreman, M., C., Fisher, J., Stratford, C. J., Mould, D. J. & Mountford, J. O., 2007: Hydrological science and wetland restoration: some case studies from Europe. *Hydrology and Earth System Sciences* 11(1), 158–169.
- Berglund, K., 2008: Torvmarker en resurs i jordbruket igår, idag och även imorgon? I: Runefelt, L. (ed). Svensk mosskultur: odling, torvanvändning och landskapets förändring 1750–2000. *Skogs- och lantbrukshistoriska meddelanden* 41. Kungliga skogs- och lantbruksakademien, s 483–498.
- Brown, R. H., Konoplyantsev, A. A., Ineson, J. & Kovalevsky, V. S., 1975: Ground-water studies: An international guide for research and practice, The Unesco Press, 539 s.
- Charman, D., 2002: *Peatlands and Environmental Change*. John Wiley & Sons, LTD., 301 s.
- Dahlqvist, P., Thorsbrink, M., Holgersson, B., Nisell, J., Maxe, L. & Gustafsson, M., 2017: Våtmarker och grundvattenbildning – om möjligheten till ökad kapacitet vid grundvattentäkter på Gotland. *SGU-rapport 2017:01*. Sveriges geologiska undersökning, 73 s.
- HaV, 2018a: Undersökningstyp övervakning av grundvattenkvalitet. Programområde Sötvatten. Version 1:0, 2018-03-14, 46 s.
- HaV, 2018b: Undersökningstyp Grundvattennivå, Programområde Sötvatten. Version 1:9 2018-03-20, 22 s.
- Hjerne, C. 2018: Särskilt utsatta områden, PM. 2018-05-29; SGUs Dnr 14-951/2018, 29 s.
- James, A., 2010: Feasibility in using historical data to perceive changes in Peatlands – Changes in peatland's structure and vegetation over the past 91 years. Examensarbete Naturgeografi och kvartärgeologi, *NKA 31*, Stockholms universitet, 51 s.
- Kasimir-Klemmedtsson, Å., Nilsson, M., Sundh, I. & Svensson, B., 2001: Växthusgasflöden från myrar och organogena jordar. 2001. *Rapport 5132*. Naturvårdsverket, 54 s.
- Lundin, L., Lode, E., Nilsson, T., Strömgren, M., Jordan, S., & Sergei, K., 2016: Effekter vid restaurering av avslutade torvtäkter genom återvätning; undersökningar vid Porla, Toftmossen och Västkärr. *Projektrapport nr 18*, Torvforsk, 57 s.
- Mitsch, W. J. & Wilson, R. F., 1996: Improving the success of wetland creation and restoration with know-how, time and self-design. *Ecological Applications* 6(1), pp 77–83.
- Menberu, M. W., Haghighi, A. T., Ronkanen, A.-K., Marttila, H., & Kløve, B., 2018: Effects of drainage and subsequent restoration on peatland hydrological processes at catchment scale, *Water Resources Research* 54 (7), 4479–4497.
- Naturvårdsverket, 2009a: Rätt våtmark på rätt plats. En handledning för planering och organisation av arbetet med att anlägga och restaurera våtmarker i odlingslandskapet, *Rapport 5926*. Naturvårdsverket, 68 s.
- Naturvårdsverket, 2009b: Våtmarksinventeringen – resultat från 25 års inventeringar. *Rapport 5925*. Naturvårdsverket, 119 s.
- Naturvårdsverket, 2010: Manual för uppföljning i myrar i skyddade områden. Dnr. 310-5279-05 NS, 96 s.
- Naturvårdsverket, 2017: Kunskapsunderlag om våtmarkers ekologiska och vattenhushållande funktion. Redovisning av regeringsuppdrag (M2017/0954/NM), 85 s.
- Rodhe, A., Lindström, G., Rosberg, J. & Pers, C., 2006: Grundvattenbildning i svenska typjordar – översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell. Uppsala universitet, Institutionen för geovetenskaper, *Report Series A No. 66*, 20 s.
- Schoning, K., 2014: Torvtillväxt och kolackumulation hos unga torvmarker i Uppland. *SGU-rapport 2014:35*. Sveriges geologiska undersökning, 32 s.

- Schoning, K., 2015: Förändringar i torvegenskaper, markanvändning och vegetation hos södra och mellersta Sveriges torvmarker. *SGU-rapport 2015:09*. Sveriges geologiska undersökning, 27 s.
- Schoning, K., Sohlenius, G. & Thorsbrink, M., 2017: Geologiska undersökningar och bedömning av hydrologisk påverkan vid ansökan om torvtäkt. *SGU Rapport 2017:10*. Sveriges geologiska undersökning, 29 s.
- SGU, 1964: Hydrogeologisk utredning i Sproge kommun, Gotland avseende inverkan på brunnar genom planerad fördjupning av Mästermyr kanal. Sveriges geologiska undersökning, 30 juni 1964, 21 s.
- SGU, 2013: Bedömningsgrunder för grundvatten. *SGU-rapport 2013:01*. Sveriges geologiska undersökning, 235 s.
- SGU, 2019: Grundvattennätet, Hallsberg, maj 2019.
- Sonnier, G., Bohlen, P.J., Swain, H.M., Orzell, S.L., Bridges, E.L. & Boughton, E.H., 2018: Assessing the success of hydrological restoration in two conservation easements within Central Florida ranchland. *PLoS ONE 13*(7).
- Svensson, C. 1984. *Analys och användning av grundvattennivåobservationer*. Doktorsavhandling. Chalmers tekniska högskola och Göteborgs universitet.
- Vikberg, E., Thunholm, B., Thorsbrink, M. & Dahne, J., 2015: Grundvattennivåer i ett förändrat klimat – nya klimatscenarier, *SGU-rapport 2015:19*. Sveriges geologiska undersökning, 26 s.
- Von Post, L. & Granlund E., 1926: Södra Sveriges torvtillgångar. *Sveriges geologiska undersökning C 335*.
- Wilson, L., Wilson, J., Holden, J., Johnstone, I., Armstrong, A. & Morris, M., 2010: Recovery of water tables in Welsh blanket bog after drain blocking: Discharge rates, time scales and the influence of local conditions. *Journal of Hydrology 391*, 377–386.