



*Effekter av
grundvattensänkning
i Gårdsjön 2000 – 2008*

hydrologi, markkemi och vegetation

Forskningen kring Gårdsjön

Gårdsjön med omgivningar är välkända inom miljöforskningen. Här har undersökningar om luftföroreningar och deras effekter på mark, vatten, växt- och djurliv pågått sedan slutet av 1960-talet. Många av resultaten är banbrytande och har bidragit till att klarlägga sambanden mellan surt regn och effekter på vatten, mark och ekosystem.

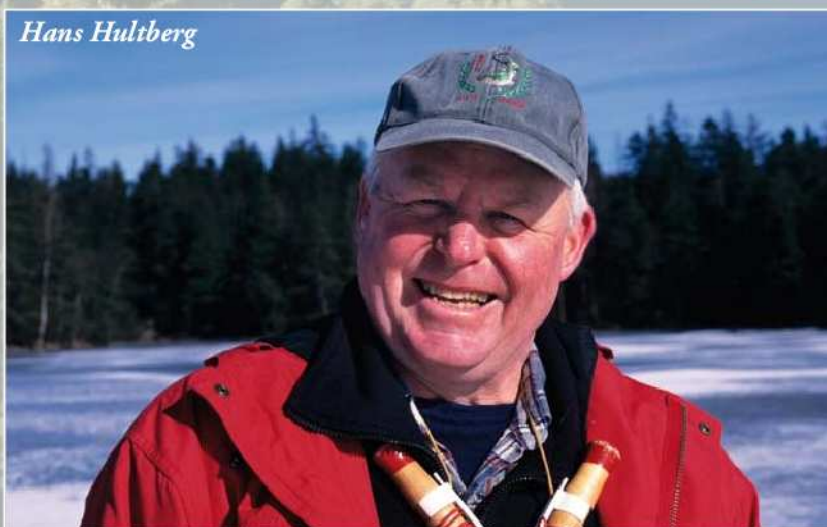
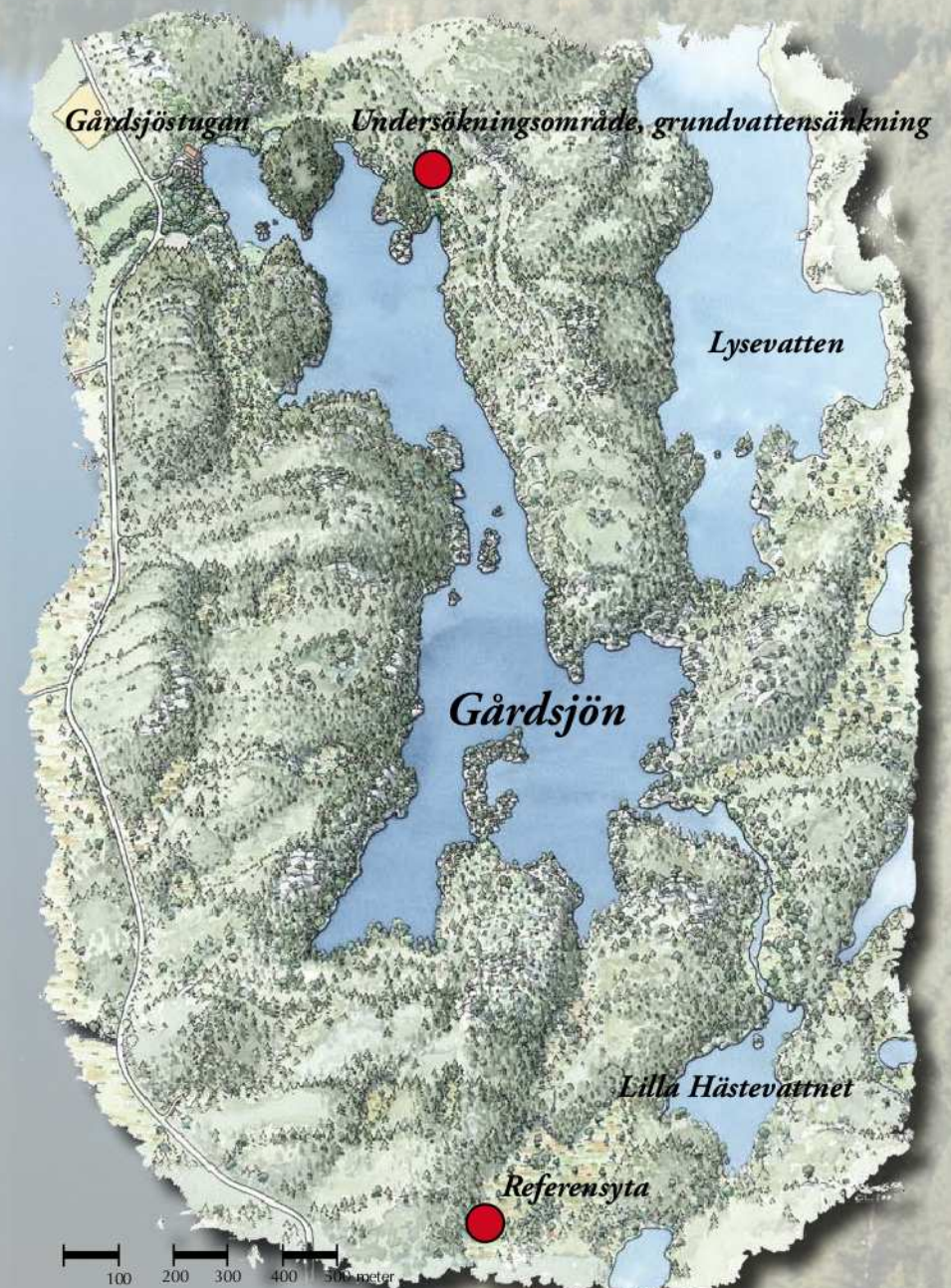
Försök med grundvattentappning i Gårdsjön

Byggande under mark kan orsaka läckage av grundvatten, vilket i sin tur kan påverka vattenkemin på ett negativt sätt. 1997 startades ett forskningsprojekt vid Gårdsjön med syfte att klarlägga effekter på hydrologi, vattenkemi och vegetation efter en kontrollerad grundvattensänkning i ett litet avrinningsområde. Området, som ligger ovanför högsta kustlinjen (marina gränsen), har tunna jordlager, kristallin svårvittrad berggrund och hög nederbördsmängd (ca 1 100 mm/år).

Gårdsjön

Gårdsjön är en ca 32 ha stor klarvattensjö, belägen i de näringfattiga moränmarkerna öster om Stenungsund. Sjön ingår i Anråseåns vattensystem. Det omgivande skogsområdet kallas populärt för Svartedalen och sträcker sig några mil åt söder. På 1960-talet drabbades områdets sjöar och vattendrag av en omfattande fiskdöd. Orsaken var svavelnedfall och försurning.

Gårdsjön ligger ca 5 mil norr om Göteborg. För att komma till Gårdsjön kör man E6 norrut, tar av mot Ucklum vid Stora Höga och kör sedan ytterligare 9 km norrut till Ucklum. Därefter svänger man av mot Västerlanda i Ucklum och efter ca 4 km finns en avfart till höger mot Gårdsjön.



Dränering och återställning av våtmarkerna

I projektet studerades två avrinningsområden. I ett av områdena gjordes ett vattenuttag från berggrundvatten under mer än fyra år, medan det andra området fungerade som referens. I ett centralt placerat och 70 meter djupt håll pumpades djupt grundvatten ut för att sänka grundvattennivån i både berg och våtmark. Vattnet leddes sedan bort från avrinningsområdet och ut i Gårdsjön. Det område där grundvattenuttaget gjordes, övervakades under opåverkade förhållanden under tre år. Därefter sänktes grundvattennivån, genom pumpning på ca 50 meters djup i berget.

Pumpningarna startade i december 2000 och resulterade under somrarna 2001, 2002, 2003 och 2004 i en maximal sänkning av ytligt grundvatten med ca 5 meter och med 5 – 20 meter av grundvattennivåerna i omgivande berg. Pumpningen avslutades i början av 2005 och under åren 2005 till 2007 följdes återhämtningen av hydrologin, hydrokemin och vegetationssammansättningen.

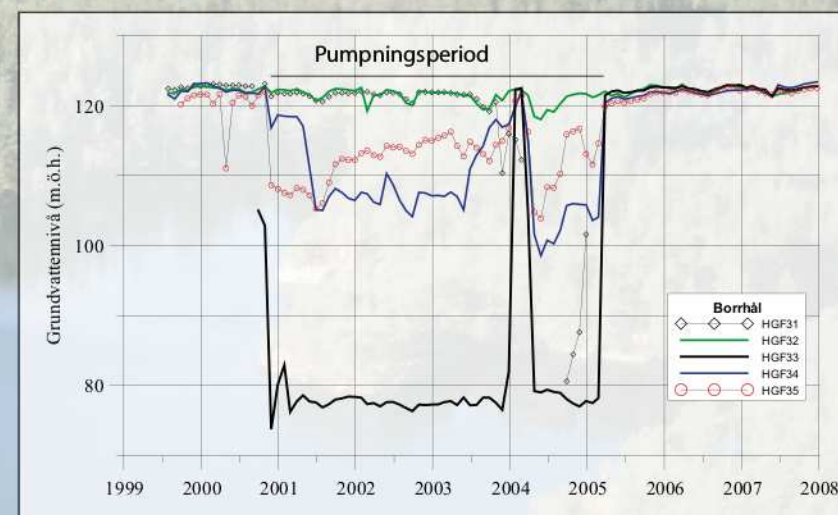
Pumpningen medförde att avrinningen minskade med ca 50 % i det studerade dräneringsområdet. Det motsvarar ca 250 mm eller 250 liter/(m²*år). Eftersom dräneringsområdet är ca 2,8 ha stort innebär det en vattenförlust på 7 000 m³/år.

Effekterna följdes i djupt och ytligt grundvatten samt i avrinningen från tre olika men sammanhängande våtmarker. Utöver grundvattenstudierna följdes påverkan på vegetationen. I ca 200 provytor studeras mossor, lavar och kärlväxter. Försöken hade som syfte att klarlägga vad som händer med växtligheten när grundvattennivån sänks och med vilken hastighet förändringarna sker. Dikningar, dräneringar, m.m. utgör allvarliga hot mot den biologiska mångfalden.

Efter 4 år, i april 2005, stoppades pumpningen av berggrundvatten. Återhämtningen av både nivåer och kemi i grund- och ytvatten var mycket snabb. För avrinningsvolym skedde återhämtningen långsammare och en viss påverkan kvarstod ännu tre år efter pumpningens slut. Under den här perioden började också vegetationen att återhämta sig.

Resultat

Grundvattenuttaget medförde en sänkning av grundvattennivåerna både i berg och i ovanliggande jordlager. Figur 1 visar grundvattennivåerna i berg inom det område där grundvatten pumpades ut. I några av brunnarna noterades en kontinuerlig avsänkning under hela den period då grundvatten pumpades ut, medan andra brunnar uppvisade säsongsmässiga variationer som var större än under de år då inget grundvattenuttag gjordes.



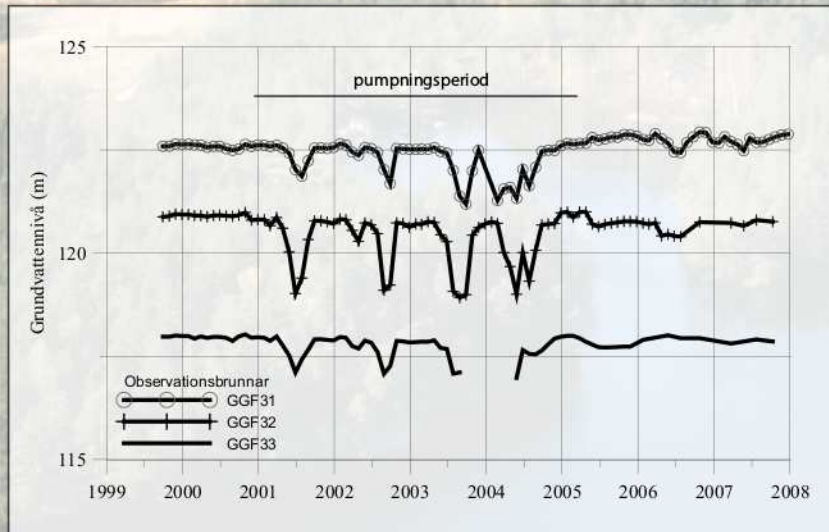
Figur 1. Nivåvariationer i bergborrhål under perioden 1999-2008.

I de centrala delarna av de båda områdena finns våtmarker. Grundvattennivåerna i våtmarkerna inom det område som påverkades av grundvattenuttag framgår av figur 2. Grundvattenuttaget medförde större säsongsmässiga variationer än under opåverkade förhållanden med en tydlig avsänkning varje sommar och återhämtning under höstarnas regnperioder.

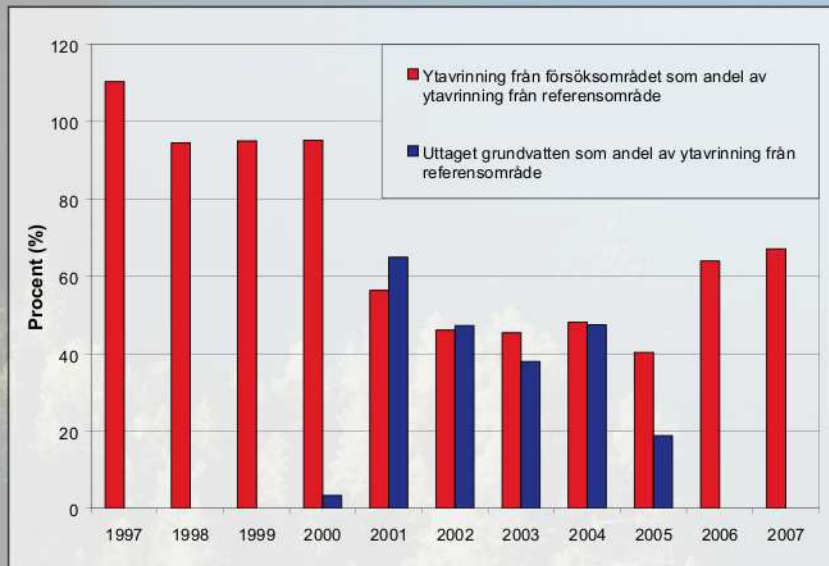


Norra delen av Gårdsjön och Gårdsjöstugan.

De två undersökta avrinningsområdena hade likartad avrinning innan grundvattenuttaget inleddes i december år 2000. Under de år då grundvatten pumpades ut från det ena området minskade avrinningen till hälften jämfört med det opåverkade området. Efter att pumpningen avslutats återhämtade sig avrinningen gradvis. En kvarstående påverkan som visade sig genom mindre avrinning kunde emellertid observeras mer än två år efter att utpumpningen av grundvatten avslutades.



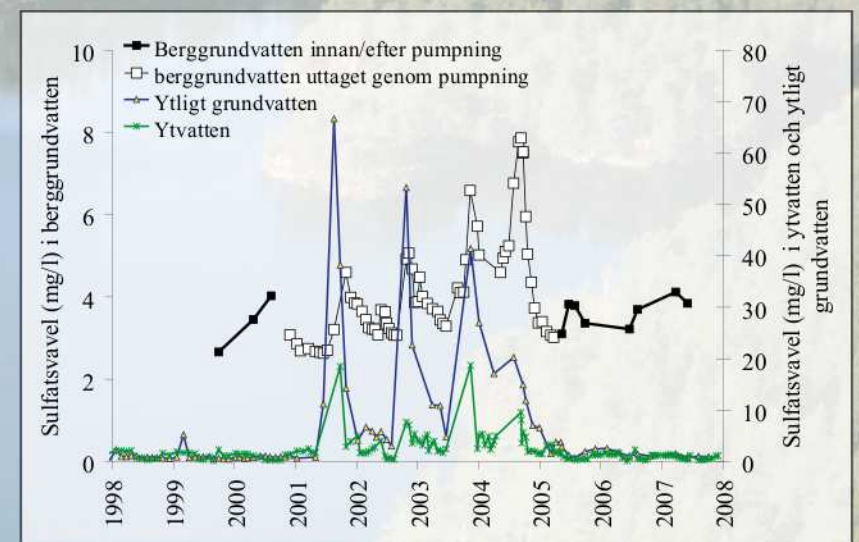
Figur 2. Nivåvariationer i övervakningsbrunnar i våtmarken under perioden 2000-2008.



Figur 3. Jämförelse av uttagen grundvatten- och avrinningsvolym från avrinningsområdet med grundvattenuttag med avrinning från det opåverkade området.

De säsongsmässiga variationerna i grundvattennivå i våtmarken som orsakades av grundvattenuttaget hade en stor påverkan på vattenkemin. Sänkningen av grundvattennivån medförde att syre från luften fördes ner på djupet i kärren så att reducerat svavel oxiderades till sulfat (figur 4). De höga sulfatkoncentrationerna i det ytliga grundvattnet i våtmarken gav lägre pH och ökat utflöde av metaller.

I samband med att grundvattennivåerna steg i våtmarken bildades också berggrundvatten genom att ytligt grundvatten flödade ner i berget. Detta medförde att även det djupare liggande berggrundvattnet fick förhöjda sulfatkoncentrationer vilket i sin tur gav lägre pH och lägre alkalinitet (d.v.s. lägre förmåga att motstå försurning).



Figur 4. Sulfatsvavel i ytvatten, grundvatten i berg och jord i det av grundvattensänkningen påverkade området.

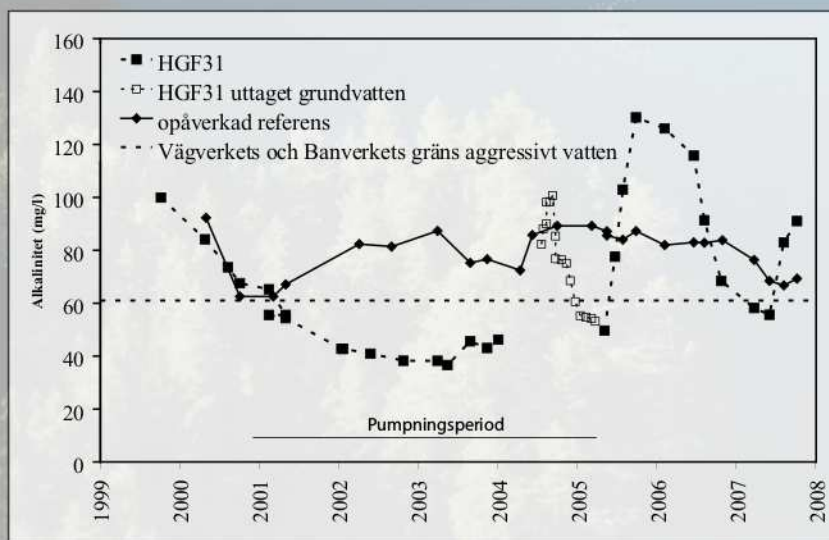
Efter att pumpningen avslutades sjönk koncentrationen av sulfat (figur 4). En annan effekt var att berggrundvattnets alkalinitet (alkalinitet = förmåga att motstå försurning) varierade mer än normalt. Det senare kan utläsas ur figur 5.



Pumpar och övervakningsutrustning styrs av reglerutrustning i en container.

Grundvattenuttaget medförde att både ytliga vatten och berggrundvatten tidvis fick en sammansättning som är skadlig för såväl växt- och djurliv som för konstruktionsmaterial.

De svenska myndigheterna Banverket och Vägverket har satt upp olika vattenkemiska kriterier för om grundvattnet ska betecknas som aggressivt mot konstruktionsmaterial och om kompletterande skydd mot nedbrytning av materialen därför behövs. För att vatten skall bedömas som aggressivt gäller att alkaliniteten skall vara lägre än 61 mg/liter. Jämförelser med detta kritiska värde i det av grundvattenuttag påverkade området och referensområdet presenteras i figur 5. Figuren visar att de vattenkemiska förhållandena i det påverkade området är mer varierande än i referensområdet.



Figur 5. Alkalinitet i berggrundvatten i det av grundvattenuttag påverkade området (HGF31) och i det opåverkade referensområdet (HGF1) i jämförelse med kriterium fastställt av Vägverket och Banverket.

Tidvis fick vattnet i det av grundvattenuttag påverkade området en sammansättning som skulle bedömas som aggressiv av myndigheterna.

Liknande påverkan som från grundvattenuttaget vid Gårdsjön har observerats vid byggandet av järnvägstunnlarna genom Hallandsåsen och av Romeriksporten, en ca 14 km lång järnvägstunnel utanför Oslo. Vid båda dessa tunnelprojekt har det ytliga vattnet märkbart försurats. Vid Romeriksporten noterades också en vattenkemisk påverkan på berggrundvattnet i likhet med Gårdsjöförsöket.

Resultaten från försöken med grundvattenuttag visar på svårigheten att förutse vilka vattenkemiska förhållanden som kommer att råda efter en störning t ex ett grundvattenuttag eller tunnelkonstruktion. Störningarna kan ge kraftiga variationer och bestående förändringar i vattenkemin. Dessa förändringar kan resultera i sämre dricksvattenkvalitet och försämrad beständighet i olika material i en undermarksanläggning.



Demonstration av vegetation under seminariedag 2005.

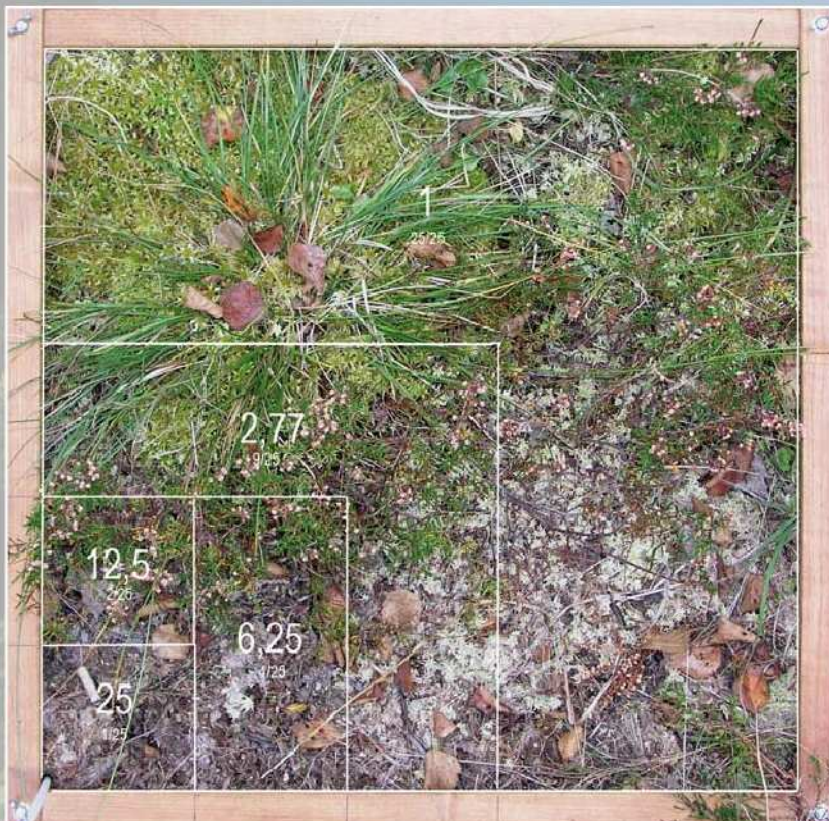
Uppföljning av vegetationens utveckling

I samband med grundvattenförsöken genomfördes också studier av hur växttäcket art- och mängdsammansättning påverkas. Denna del av projektet hade som mål att belysa effekter på växtligheten, att ge stöd för förutsägelser av förändringar i vegetationen vid relativt ytnära berganläggningar och att ge underlag för miljökonsekvensbeskrivningar.

Undersökningen av växtligheten genomfördes i fem mindre kärr. Tre ligger inom den våtmark som omfattades av grundvattensänkningen medan två referensytor/kärr ligger i näraliggande våtmarker av liknande typ.

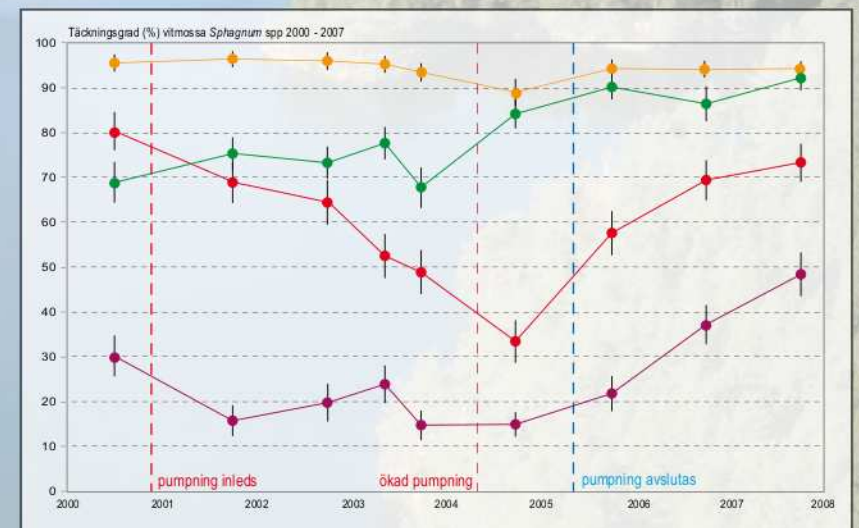
I de öppna delarna av våtmarkerna lades totalt 200 provytor för uppföljning av växtlighet ut. Provytorernas storlek var 50 x 50 cm och vegetationen i ytorna inventerades med hjälp av en specialkonstruerad ram (se figur 6). I provytorna registrerades alla arter av kärlväxter, lavar och mossor. Ytorna utvärderades sedan med två metoder, dels inventering i fält (art-area-metod), dels med en fotografisk metod.

Figur 6. Inventeringsram med delytor för beräkning av växternas täckningsgrad.



Vitmossor minskade tydligt

De effekter som kunnat registreras var förväntade och tydliga (se figur 7). Levande vitmossor minskade i det kärr som allra mest påverkades av grundvattensänkningen (kärr 2). En minskning kunde också ses i de andra påverkade kärren (1 och 3), men effekterna där var mindre. Här skiljde sig resultatet mellan de använda utvärderingsmetoderna. I ”art-area-metoden” registrerades blygsammare effekter, men detta bedöms främst ha metodologiska orsaker. Från 2005 (efter återställning av grundvattnet) ökade andelen levande, vitala vitmossor i samtliga kärr, men mest i det som varit mest påverkade. I ett av kärren var frekvensen för vitmossor i stort sett oförändrad under hela perioden, men var också betydligt högre från början jämfört med de andra kärren. I kärr 3 (mindre påverkat av grundvattensänkning) har frekvensen hela tiden varit lägre jämfört med övriga kärr.



Figur 7. Frekvenser för vitmossor *Sphagnum* spp. i försöksområdena. Röda vertikala linjer anger grundvattensänkningens olika skeden och blå vertikala linje visar när pumpningen avbröts. Orange = kärr 1, rött = kärr 2, lila = kärr 3, grönt = kärr 4.

Sammanfattande tabell

Förändringar i vegetationsytorna för alla arter (87 stycken) med fältmetoden.
 Antal förändringar = antalet arter där förändringar större än 20 % registrerats mellan inventeringstillfällena (ökat, minskat; 2000 – 2004, 2004 – 2007).

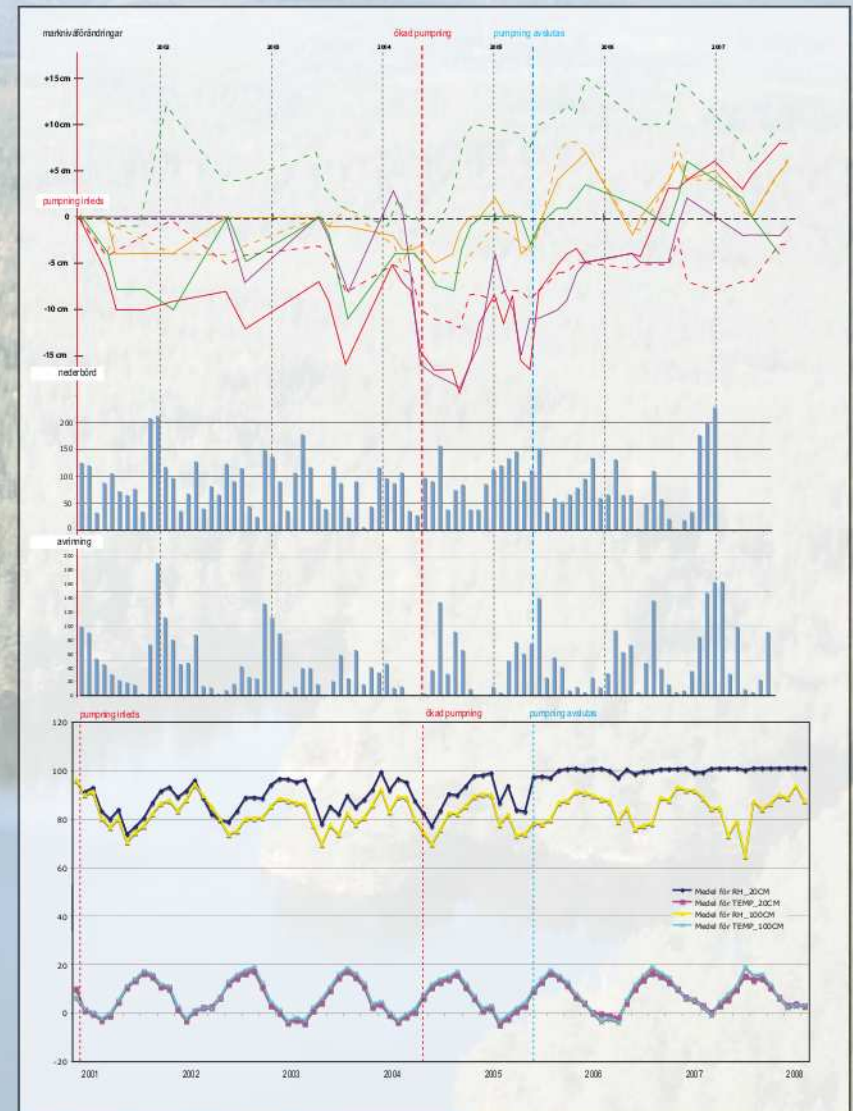
	KÄRR 1	KÄRR 2	KÄRR 3	KÄRR 4
Antal arter	52	53	61	45
Antal förändringar totalt	24	29	23	15
Andel förändringar %	46%	55%	38%	33%
Antal ökande arter 2000-2007	7	8	5	8
Andel i %	13%	15%	8%	18%
Antala minskande arter 2000-2007	1	3	4	1
Andel i %	2 %	6%	7%	2%
Ökning 2000 – 2005 därefter minskning	12	12	3	4
Andel i %	23%	23%	5%	9%
Minskning 2000 – 2005 därefter ökning	0	1	0	0
Andel i %	0	2%	0	0%
Ökning 2000 – 2005 därefter oförändrat	4	5	11	2
Andel i %	8%	9%	18%	4%
Minskning 2000 – 2005 därefter oförändrat	0	0	0	0
Andel i %	0	0	0	0%

I fält registrerades 87 olika arter i de fyra undersökta kärrens 200 delytor.

Artrikedomen varierade från 45 i referenskärret till 61 i kär 3.

I tabellen ovan redovisas en sammanfattning av hur vegetationen förändrades under försöksperioden. I tabellen kan utläsas att det i de mest påverkade kärren (1–3) också skett flest kraftiga förändringar under perioder med utpumpning/torrläggning respektive återhämtning. I kär 1 hade t ex 46 % av arterna varierat kraftigt och i referenskärret 33 %. I det mest påverkade kärret hade hela 55 % av alla arter som påträffats ändrat sin förekomst med mer än 20 % under åren.

Särskilt tydligt i de mest påverkade kärren var att flera kärlväxtarter ökade under den period som vattnet pumpades bort, för att sedan minska efter att pumpningen upphört. Många fler arter hade alltså antingen ökat eller minskat i de påverkade kärren. Detta tros bero på att många växter trivs bättre på jord är omväxlande torr och luftig, än på kontinuerligt vattensjuk sådan.



Figur 10. Mätningar av markytans rörelser och lokala klimatmätningar under perioden 2000 – 2007. Blå vertikal streckad linje visar när pumpningen avbröts.

För att få en bild av hur grundvattnets fluktuationer påverkade markytan och det lokala klimatet genomfördes mätningar av marknivårörelser, relativ fuktighet och temperatur i de påverkade kärren (figur 10). De övre diagrammen visar markytans rörelser i vertikalled. Orange linje = kär 1, rött = kär 2, lila = kär 3, grönt = kär 4. Bruten linje visar en kompletterande mätning i respektive kär. Det mellersta diagrammen visar nederbörd och avrinning i referensområdet per månad under hela perioden. De nedre diagrammen visar månadsvärden för relativ luftfuktighet (%) i det kär som mest påverkats av grundvattensänkning under perioden 2000–2008 på 20 centimeters (blå linje) respektive 1 meters höjd (gul linje). Luftfuktigheten är signifikant högre på lägre höjd. Den relativa fuktigheten var något lägre och mer varierande under perioden 2000–2005 än senare då pumpningen upphört. De nedersta kurvorna (blå och lila) visar temperatur i °C på 20 centimeters respektive 1 meters höjd.

Vegetationsutvecklingen 2000 - 2007 i en av provytorna i det mest påverkade kärret



2000. En inledande dokumentation av växtligheten genomförs innan försöket med grundvattensänkning inleds under sommaren 2000. Ytan är blöt och det finns gott om vitmossor Sphagnum spp. Några enstaka grässtrån och ett par ljungvistar registreras också.

2001. Under hösten 2001 görs en andra inventering. Markytan har nu torkat ut och ett omfattande avdöende av vitmossor noteras. I ytan finns också mer gräs och unga skott av ljung än tidigare.



2002. Ytan är nu permanent torr och vitmossor minskar ännu mer. Kärrviol har vandrat in i ytan. Ljung och gräs fortsätter att öka.

2003. Efter tre år av sänkt grundvatten har täckningsgraden av levande vitmossor minskat med över 70%. En rejäl grästuva har etablerats. Växtsamhället börjar övergå i ett fastmarksamhälle.



2004. Fyra år efter grundvattensänkningen inleddes finns nästan enbart gräs och ljung i provytan. Enstaka vitmossor lever kvar under de storväxta kärlväxterna. Senare (2005) stängs pumpningen av och vattennivåerna börjar att återställas.

2005. Kärret har börjat fyllas med vatten. Under hösten är återigen vattennivån ganska hög. Kvarvarande vitmossor svarar med att växa till och kan åter registreras i ytan. Ljung och gräs minskar inte.



2007. Tre år har förflutit efter att kärren börjat återfyllas med vatten, och sju år sedan försöket påbörjades. Vitmossorna har kommit tillbaka, men växer i spretiga bestånd. Ljung och gräs har helt tagit över och dominerar nu växtligheten.

Sammanfattning: Grundvattensänkningen 2000 - 2004 resulterade i en accelererad och irreversibel igenväxning av kärret.

Referenser

- Bockgård, N. 2005: *Groundwater recharge in crystalline bedrock: processes, estimation, and modelling*. PhD Dissertation, Faculty of Sci. and Techn. Uppsala Univ. Sweden.
- Brettum, P., Berge, D., Løvik, J.-E., Mjelde, M., Saltveit, S. J., Brabrand, Å. & Bremnes, T. 1999: *Undersøkelse av vannkvalitet og økologiske forhold i Østmarka berørt av lekkasjene til Romeriksporten (in Norway)*. Report LNR 4016-1999. Nor. Inst. f. W. Res. Oslo.
- Fridh, B., Hayling, K. 1980: *Seismisk undersökning Gårdsjön 1980: slutredovisning (in Swedish)*. Goth. Univ. Dept. of Geol. Gothenburg.
- Glassley, W. E, Nitao, J. J. & Grant, C. W. 2003: Three-dimensional spatial variability of chemical properties around a monitored waste emplacement tunnel. *J. Contam. Hydrol.* 2003. 62-63: 495-507.
- Knape, S. 2001: *Natural hydrochemical variations in small catchments with thin soil layers and crystalline bedrock*. Publ. A98. Licentiate Thesis, Dept. of Geol. Chalmers Univ. of Technology. Gothenburg.
- Likens, G. E., Driscoll, C. T. & Buso, D. C. 1996: Long-term effects of acid rain: Response and recovery of a forest ecosystem. *Science* 1996; 272 (5259): 244-246.
- Mossmark F, Hultberg H, Ericsson L.-O. Effects of groundwater extraction from crystalline hard rock on water chemistry in an acid forested catchment at Gårdsjön, Sweden. *Appl. Geochem* 2007 (22): 1157-1166.
- Mossmark, F., Hultberg, H. & Ericsson, L.-O. 2008: Recovery from groundwater extraction in a small catchment area with crystalline bedrock and thin soil cover in Sweden. *Science of the Total Environment*, vol. 404 (2-3): 253-261.
- Olofsson, B. & Ericsson, L.-O. 1985: *Miljöförändringar vid värmeutvinning ur berg och grundvatten (in Swedish)*. Swedish Council for Building Research.
- Parkinson, J. 1975: Tunnel faces acid test –and disintegrates. *New Civil Engineer* 1975: 128.
- Traaen, T. S. & Berge, D. 1999: *Kjemiske stoffer i tunnelvannet – utover rester av tetningskjemikalier (in Norwegian)*. Report LNR 4099-99. Norwegian Institute for Water Research. Oslo, Norway, 1999.

Undersökningarna har i huvudsak utförts av Hans Hultberg IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Fredrik Mossmark Geonnova AB, Svante Hultengren Naturcentrum AB, Henrik Weibull Naturcentrum AB och Erika Blom Naturcentrum AB, på uppdrag av Niklas Löwegren, Banverket.

Foldern har producerats av Naturcentrum AB 2009. Omarbetat upplaga för webpublicering 2012. Texter, bilder & diagram: Hans Hultberg, Svante Hultengren och Fredrik Mossmark. Karta: Carina Lindkvist, Naturcentrum AB. Layout & bearbetningar: Svante Hultengren, Naturcentrum AB.



BANVERKET