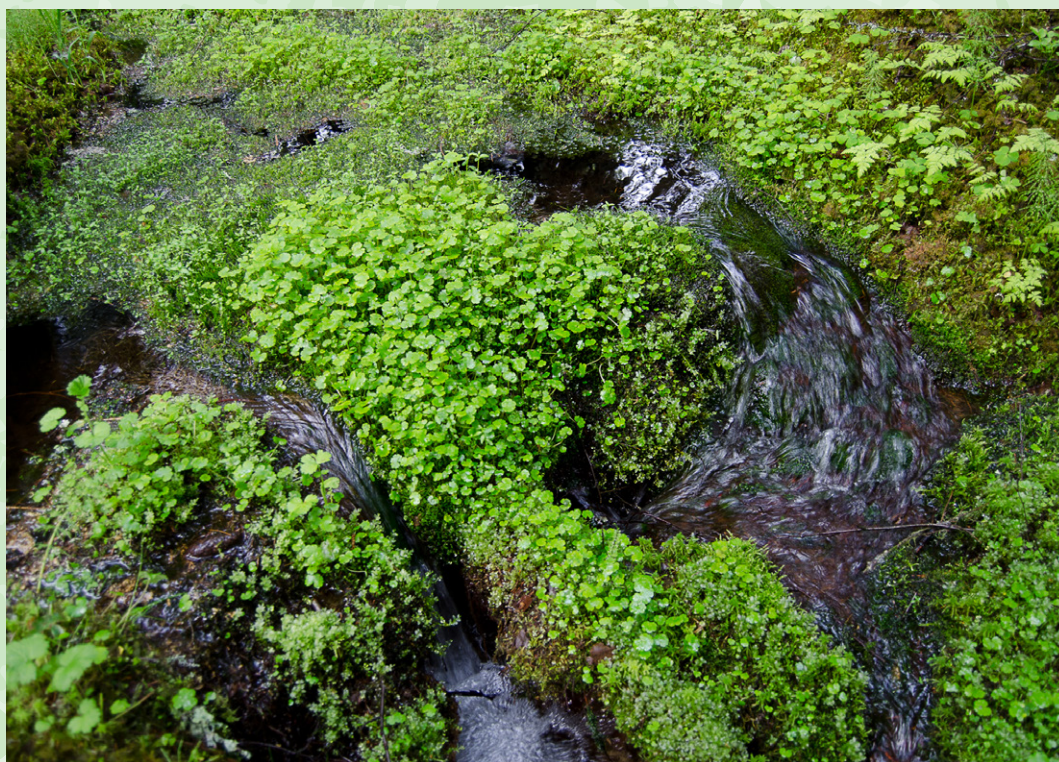


Rapporter och meddelanden 135

Grundvattendagarna 2013

Lund, 16–17 oktober

**Peter Dahlqvist, Charlotte Sparrenbom,
Karin Sjöstrand, Maria Åkesson,
Gerhard Barmen, Bo Thunholm,
Lena Maxe, Mattias Gustafsson &
Kenneth M. Persson (red.)**



SGU

Sveriges geologiska undersökning
Geological Survey of Sweden

Grundvattendagarna 2013

Lund, 16–17 oktober

Peter Dahlgvist, Charlotte Sparrenbom,
Karin Sjöstrand, Maria Åkesson,
Gerhard Barmen, Bo Thunholm,
Lena Maxe, Mattias Gustafsson &
Kenneth M. Persson (red.)

ISSN 0349-2176
ISBN 978-91-7403-242-0

Omslagsbild: Den livfulla källbäcken från Rotökällan i
Sälen, Dalarna. Foto: Magdalena Torsbrink, SGU

Layout: Jeanette Bergman Weihed, SGU
Tryck: Elanders Sverige AB

Förord

Den här rapporten innehåller en sammanställning av abstracts som ligger till underlag för de presentationer som presenterades på konferensen Grundvattendagarna i Lund den 16–17 oktober 2013. Konferensen anordnades av SGU i samarbete med Geologiska institutionen på Lunds universitet och Länsstyrelsen Skåne. Ett av konferensens syften var att få till en bred uppslutning från olika organisationer, myndigheter, konsulter, universitet, etc., och att skapa goda förutsättningar för att överföra kunskap och knyta kontakter för framtida samarbeten. Totalt har inte mindre än 59 olika bidrag kommit in och omfattningen på innehållet är verkligen stort. Det har varit en ära att få anordna konferensen och vi är tacksamma för det stora intresse som ni visat.

Lund den 16 september 2013

Peter Dahlgvist
Charlotte Sparrenbom
Karin Sjöstrand

Vetenskaplig kommitté:
Peter Dahlgvist (SGU)
Charlotte Sparrenbom (Lunds universitet)
Karin Sjöstrand (SP, tidigare Länsstyrelsen Skåne)
Maria Åkesson (Lunds universitet)
Gerhard Barmen (Lunds Tekniska Högskola)
Bo Thunholm (SGU)
Lena Maxe (SGU)
Mattias Gustafsson (SGU)
Kenneth M. Persson (Lunds Tekniska Högskola)



Länsstyrelsen
Skåne

Innehåll

SGUs arbete med vattenförvaltning	8
Jennie Abelsson & Jenny McCarthy	
Akviferlager Arlanda – erfarenheter från de första årens drift samt förslag till effektivisering	9
Olof Andersson, Kent Arvidsson, Håkan Djurberg & Per-Olof Johansson	
Hydrogeological classification as a tool to support regional scale groundwater assessment and modelling	11
Roland Barthel, Luis Samaniego, Rohini Kumar, Deliang Chen & Andras Bardossy	
Global change impacts on groundwater and water supply – an integrated modelling study from southern Germany	12
Roland Barthel, Tim G. Reichenau, Markus Muerth, Christoph Heinzeller, Karl Schneider, Rolf Hennicker, Wolfram Mauser, Tatjana Krimly, Michael Elbers, Anja Soboll, Johann Wackerbauer, Stephan Janisch, Stephan Dabbert, Jürgen Schmude & Andreas Ernst	
Dricksvatten – sårbart och inte minst i ett förändrat klimat	13
Mats Bergmark	
Föroreningar i grundvatten – långlivade kvarlevor av industrisamhället	14
Erik Bergstedt	
PFOS i grundvatten	15
Jonas Bermin & Per Johansson	
Riparian zone control on DOC in boreal headwater streams: does this amplify the climate response?	16
Kevin Bishop, Mattias Winterdahl, Jose Ledesma & Thomas Grabs	
Grundvatten – utformning av provtagningspunkter och utförande av provtagning	17
Anders Blom	
Grundvattenbildning – en besvärande datalucka?	18
Anders Blom	
Grundvattenarbete i Göteborg – övervakning, historisk påverkan och erfarenheter av miljömålsuppföljning	19
Niklas Blomquist, Anna Maria Edvardsson, Lars Bergström & Malin Klarqvist	
Förstärkt självrening av grundvatten förorenat med klorerade alifater – pågående pilottest	20
Helena Branzén, Lennart Larsson, Märta Ländell & Ole Stubdrup	
Utvärdering av grundvattenprovtagning för pH- och redoxkänsliga ämnen	21
Helena Branzén, Jenny Vestin, Dan Berggren Kleja, Yvonne Ohlsson & Michael Pettersson	
PEGASUS-projektet – förekomst och transport av bekämpningsmedel i mark och grundvatten i ett litet avrinningsområde i södra Skåne	22
Christel Carlsson, Maria Åkesson, David Bendz, Charlotte Sparrenbom, Anja Enell & Jenny Kreuger	
ERT and image analysis for estimating water and solute transport across the capillary fringe	24
Torleif Dahlin, Magnus Persson, Pontus Pojmark, Benedict Rumpf & Thomas Günter	
Växtskyddsmedel i yt- och grundvatten, ser man en koppling?	25
Peter Dahlqvist, Pardis Pirzadeh, Karin Sjöstrand, Henric Thulin Olander, Mattias Gustafsson & Hillevi Virgin	
Groundwater supply in coastal terrains: development of new methodologies	26
Robert Earon & Bo Olofsson	
Kalkkällornas betydelse för vattenförsörjningen i Sverige	27
Anders Eriksson	
Transport av nanokoltuber i mark- och grundvatten	29
Fritjof Fagerlund, Prabhakar Sharma, Abenezer Mekonen & Dixiao Bao	
Grundvattenbildning, grundvattenkemi och grundvattenmodellering i sprickigt berg	30
Sven Follin	

Changes in subsurface water residence times in a permafrost model subject to hydro-climatic change	31
Andrew Frampton	
Betydelsen och effekten av grundvatten och grundvattenflöde för geoenergisystem	32
Signhild Gehlin & Johan Barth	
Estimation of extreme groundwater levels with a perspective on seasonality and interval lengths	34
Ezra Haaf	
Resistivitetsundersökning (CVES) på Kristianstadsslätten optimerar grundvattenskydd vid motorvägsbygge	35
Elisabet Hammarlund & Roger Wisén	
Grundvattenmodellering vid tunnelbygget genom Hallandsåsen	36
Jan Hartlén, Magnus Gynnemo & Fredrik Björkman	
Bevattningsuttag av grundvatten – provning i mark- och miljödomstolen	37
Catharina Hederström	
Utredning kring en trygg dricksvattenförsörjning	38
Gunnar Holmgren	
Effekter på biota av tillfällig grundvattensänkning – erfarenheter från tunnelbygget på Hallandsås	39
Karl Holmström	
Utveckling av riskbedömningsverktyg för bekämpningsmedel i svenska vatten	41
Nicholas Jarvis, Jenny Kreuger, Mikaela Gönczi, Mats Larsbo & Julien Moeys	
Underlag för lokalisering av enskilda avlopp	42
Eva Jirner, Lena Maxe & Bo Thunholm	
Grundvattenmätningar vid infrastrukturarbeten – vilken är den normala nivån och vilken precision går att nå?	43
Mattis Johansson	
Presentation of IAH and IAH Sweden	44
Jeffrey Lewis, Niklas Blomquist, Malva Abugor-Ahlkrona, Sven Follin, Björn Holgersson, Cecilia Jansson & Bo Olofsson	
Vattenförvaltning med fokus på grundvatten – vad händer?	45
Carola Lindeberg, Björn Lagerdahl, Malin Naess & Pernilla Öhrström	
NV Skåne – S Halland, utveckling mot en tryggare vattenförsörjning genom mellankommunalt samarbete	46
Patrik Lissel	
Groundwater recharge distribution – snow and frost influence	47
Angela Lundberg & Jens Kvaerner	
Förslag till vägledning för kommunal VA-planering	49
Margareta Lundin-Unger	
Uppsalaåsens dricksvatten – en förutsättning för expansion?	50
Bertil Lustig	
Miljökvalitetsmålet <i>Grundvatten av god kvalitet</i> – preciseringar och målmanual	51
Lars-Ove Lång, Lena Maxe, Helena Dahlgren & Göran Risberg	
Lokalisering av en vattentäkt ur ett hållbarhetsperspektiv	52
Lina Lörmyr, Malin Magnusson, Tove Karnstedt & Carl Runsbeck	
Disentangling ecosystem stressors: characterising the role of pesticides impacting stream environments	53
Ursula S. McKnight, Jes J. Rasmussen, Brian Kronvang, Philip J. Binning & Poul, L. Bjerg	
Akvifärkartläggning med flygburen geofysik: ett exempel från Vandel, Danmark	55
Alfredo Mendoza & Ole Frits Nielsen	
Hydrogeologisk modellering som verktyg för hushållning av grundvattentillgångarna på Kristianstadsslätten	56
Erik Mårtensson ¹ & Michael Dahlman ²	

Integrerad grund- och ytvattenmodellering med MIKE SHE – möjligheter och begränsningar	57
Erik Mårtensson & Mona Sassner	
Grundvattenundersökningar med transient elektromagnetisk sondering i Skåne	58
Philip Nilsson, Torleif Dahlin, Per-Gunnar Alm & Peter Dahlqvist	
Relativ värdering av grundvattentillgångar	59
Jakob Nisell, Magdalena Thorsbrink, Peter Dahlqvist & Björn Holgersson	
Begreppet konnektivitet – hur strömmar grundvattnet egentligen?	60
Rune Nordqvist	
Samarbetskommittén för Alnarpsströmmen – kartläggning och uppföljning av en större grundvattenförekomst	61
För Samarbetskommittén för Alnarpsströmmen, Anne-Marie Pedersen & Bo Leander	
“Clogging layer” at regulated river beds – implications for river-groundwater exchange	62
Dmytro Siergieiev, Angela Lundberg, Anders Widerlund & Björn Öhlander	
Geoelectrical imaging for site investigation of urban underground infrastructure – a TRUST-project	64
Charlotte Sparrenbom, Torleif Dahlin, Håkan Rosqvist, Mats Svensson, Esben Auken, Mehrdad Bastani & Jonas Moberg	
Grundvatten i ett förändrat klimat	66
Gustav Sundén & Bo Thunholm	
Hälsosäkert grundvatten i ett förändrat klimat	67
Bertil Sundlöf	
Jordbruksbevattning – växttillgängligt vatten i jorden – växters behov	68
Bertil Svensson	
Mapping and monitoring of groundwater in Denmark	69
Lærke Thorling & Susie Mielby	
Groundwater characterisation, monitoring and planning within the EU and the UK	71
Rob Ward	
Grundvattenberoende ekosystem i Sverige – naturvärden och känslighet för hydrologisk och hydrokemisk påverkan	72
Kent Werner & Per Collinder	
SGUs nya tjänst Grundvattenutredningar	74
Emil Vikberg, Jonas Gierup & Fredrik Blom	
Bekämpningsmedelsförekomst och grundvattenålder i ett mindre tillrinningsområde i Skåne	75
Maria Åkesson, David Bendz, Christel Carlsson, Charlotte Sparrenbom & Jenny Kreuger	
Bekämpningsmedel i grundvatten – statistisk analys av styrande faktorer	77
Maria Åkesson, Charlotte Sparrenbom, Christel Carlsson & Jenny Kreuger	
Datering av grundvatten ur ett riskfokusperspektiv	79
Maria Åkesson & Charlotte Sparrenbom	

SGUs arbete med vattenförvaltning

Jennie Abelson & Jenny McCarthy

Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala

Ramdirektivet för vatten

Alla EUs medlemsländer har ett gemensamt direktiv för vatten. Arbetets mål är att nå god vattenstatus och för grundvattnets del innebär det en långsiktigt hållbar vattenanvändning och en god miljö för växter och djur i sjöar, vattendrag och terrestra miljöer som är beroende av grundvatten. Ramdirektivet för vatten är genomfört i svensk lagstiftning, och regleras genom miljöbalken och genom vattenförvaltningsförordningen (2004:660) och förordningen med länsstyrelseinstruktion (2002:864). Grundvattendirektivet om skydd för grundvatten mot föroreningar och försämring (2006/118/EG) reglerar bl.a. hur en grundvattenförekomst ska bedömas avseende kemisk status.

SGUs ansvarsområden

SGU har många ansvarsområden inom vattenförvaltningsarbetet. En av huvuduppgifterna är att vi tar fram föreskrifter och vägledningar för hur svensk vattenförvaltning ska genomföras för grundvattnet. I arbetet ingår även samarbeten med andra europeiska länder och vi är representerade i en av kommissionens arbetsgrupper som diskuterar aktuella frågeställningar om grundvatten och tar fram gemensamma vägledningsdokument för att underlätta genomförandet av direktiven. SGUs föreskrifter kan hämtas från SGUs webbplats www.sgu.se.

Inom vattenförvaltningen bedömer vattenmyndigheterna vilken status grundvattnet har samt om det är utsatt för risk att inte nå god grundvattenstatus till 2021. När man gör en sådan bedömning används det underlag som SGU tar fram inom karteringen av grundvattenmagasin och de uppgifter som samlas in från miljöövervakningen.

En annan viktig bedömning som ska genomföras är om vårt grundvatten bidrar till en god miljö för växter och djur i akvatiska och terrestra ekosystem. Det har hittills varit svårt att göra, eftersom det saknats tillräckliga kriterier och bedömningsgrunder. För att utöka kunskapen på området driver SGU nu ett projekt för att titta på de grundvattenberoende ekosystemens känslighet för påverkan.

Grundvattenförekomster

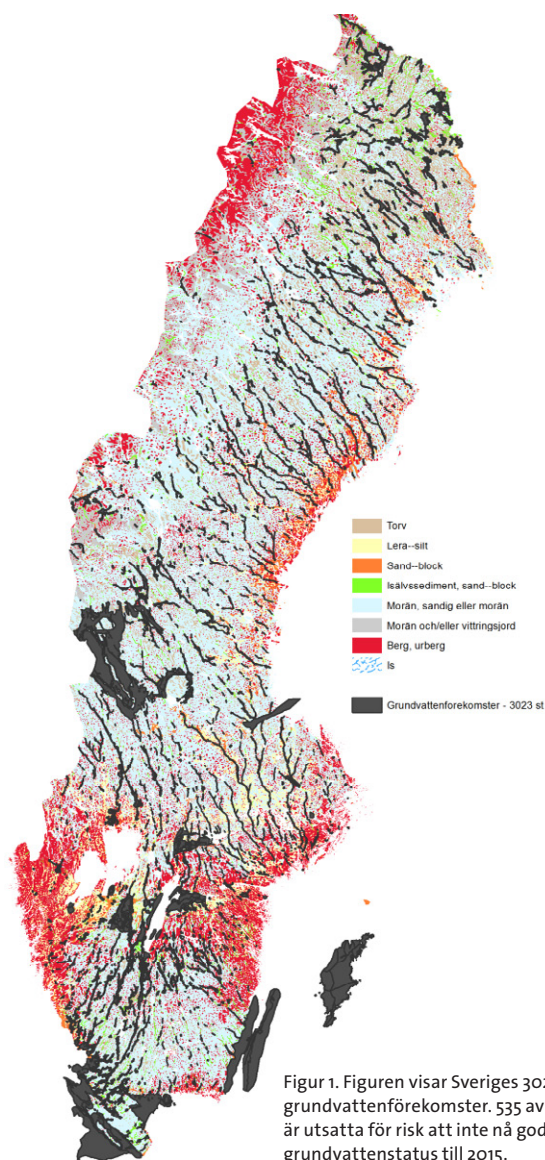
Sverige har 3023 grundvattenförekomster som är avgränsade utifrån SGUs karteringsunderlag (fig. 1). Under vattenförvaltningens första arbetscykel bedömde vattenmyndigheterna att 535 av dem var utsatta för risk att inte nå god grundvattenstatus till 2015. 60 grundvattenförekomster har redan otillfredsställande status p.g.a. föroreningar som konstaterats i sådana koncentrationer att de kan skada mänskliga eller miljö. Övervakningen som ligger till grund för bedömningarna har dock varit bristfällig, endast 30 % av grundvattenförekomsterna har någon som helst uppgift om vattnets kemiska sammansättning, och då är parameterupp-

sättningen ofta otillräcklig för syftet. För att få en säkrare bedömning och leva upp till EUs krav på övervakning är detta något som behöver förbättras i det fortsatta arbetet.

Uppgifter om grundvattnet

Uppgifter om jordartskartering, grundvattenövervakning, källor m.m. finns tillgängliga i kartvisare och som WMS-tjänster på SGUs webbplats <http://www.sgu.se/sgu/sv/produkter-tjanster/kartvisare>.

Uppgifter om grundvattenförekomster tillsammans med information om status och riskbedömning finns samlade i vattenmyndigheternas databas VISS: <http://www.viss.lansstyrelsen.se/>.



Figur 1. Figuren visar Sveriges 3023 grundvattenförekomster. 535 av dem är utsatta för risk att inte nå god grundvattenstatus till 2015.

Akviferlager Arlanda – erfarenheter från de första årens drift samt förslag till effektivisering

Olof Andersson¹, Kent Arvidsson², Håkan Djurberg³ & Per-Olof Johansson³

1. Sweco Environment AB, Box 286, 201 22 Malmö

2. Swedavia Energi, Stockholm Arlanda Airport, 190 45 Stockholm Arlanda

3. Grundvattengruppen, Propellervägen 4B, 183 62 Täby

Översiktlig systembeskrivning

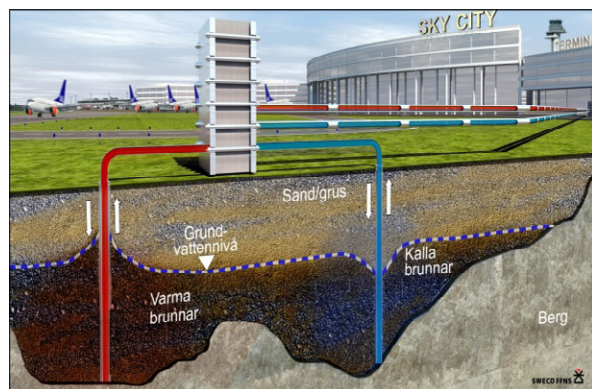
Akviferlager Arlanda är benämningen på ett grundvatten-baserat energisystem förlagt till Långåsen strax öster om terminalbyggnaderna till Arlanda flygplats. Akviferlagret förser flygplatsen med kyla och värme som säsongslagras i åsen (fig. 1).

Vintertid lagras kyla in i en kall del av åsen. Kylan består främst av frikyla som erhålls då värme från lagrets varma del av åsen används till förvärmning i flygplatsens ventilations-system. Värme från akviferen används även till varmhållning och snösmältning av uppställningsplatser, vilket också genererar spillkyla som lagras. En tredje kylkälla är Halmsjön från vilken kyla vid behov kan växlas över till grundvattenkretsen och föras ned i akviferens kalla sida.

Systemet är dimensionerat för ett maximalt flöde av 200 l/s vid såväl vinter- som sommardrift. Med en genomsnittlig temperatur av +5 °C då vatten pumpas från de kalla brunnarna och återförs på den varma sidan vid temperaturen +20 °C blir effekten ca 12 MW. Detta motsvarar ungefärligen flygplatsens effektbehov av kyla vid högsommarväder. Kylmaskiner för spetskyla finns dock kvar i kylcentralen varifrån kylan (och varmet) distribueras till och från flygplatsens byggnader.

Hydrogeologiska förhållanden

Långåsen är en lokal benämning på den del av Stockholms-åsen som löper genom flygplatsområdet. Där akviferlagret har placerats bildar åsen en lågt liggande och hydrauliskt avgränsad del. Gränserna i norr och söder består av tvärgående bergsribbor och sidorna av organiska jordar, lera och berg-moränområden. Den norra delen av åspartiet utgör



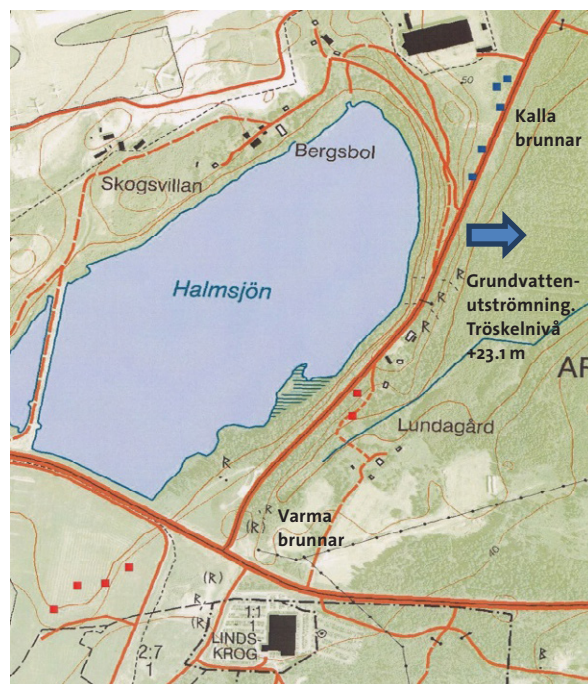
Figur 1. Principiell illustration av systemet med akviferlager. Grundvatten bildar en egen flödeskrets. Kyla och värme växlas över till distributionsnätet via plattvärmeväxlare.

lagrets kalla sida och här finns i nuläget fem brunnar. Den södra delen, som har något sämre hydrauliska egenskaper, utgör lagrets varma sida med i nuläget sex brunnar.

Väster om åsen ligger Halmsjön, ursprungligen en död-isgrop med en botten av gyttja och lera. Även om åsen går in under sjöns östra delar gör bottensedimenten att det hydrauliska sambandet mellan sjö och ås är ytterst begränsat. Halmsjön regleras och har en avrinning västerut. Angränsande åsavsnitt, där lagret är placerat, har däremot en naturlig dränering av grundvatten i östlig riktning. Längs åsens östra sida ligger därför ett kärrområde med utströmning av grundvatten (fig. 2).

Nybildning av grundvatten sker dels inom den del av åsen som utgör lager, dels inom åsens lokala vattendelare, främst söder om lagret. Tillströmning sker då över de berggribbor som avgränsar det aktiva lagerområdet (fig. 3). Nybildningen har beräknats till ca 20 l/s sett som medelvärde över ett normalår.

Själva åsen har mycket hög hydraulisk konduktivitet i centrala delar med T-värden runt $2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ för att som brukligt för åsar minska mot sidorna. Bredden och mäktigheten är som störst i norr. Mot söder smalnar åsen av och



Figur 2. Översiktskarta som visar placeringen av kalla brunnar i norr och varma i söder. Utströmningsområdet i öster är markerat med pil.

mäktigheten avtar något. Det har beräknats att tillgänglig nettovolym för lagring är drygt 2 miljoner kubikmeter, vilket ger en lagringspotential av ca 20 GWh per årscykel vid en temperatursvängning av 13 °C.

De första årens drifterfarenheter

Miljödom för anläggningen erhöles hösten 2008 och den stod färdig för driftsättning i juni 2009. Redan första vintern stod det klart att akviferen svämmade över mot öster (kärmarken) då man laddade akviferen vintertid. Problemet var väntat, men det var okänt vid vilken grundvattennivå det började flöda över. Det visade sig ganska snart att det inte gick att undvika utströmningen om grundvattennivån översteg +23,1 m. Detta har begränsat flödet vid inladdning högst märkbart, något som naturligtvis påverkat anläggningens effektivitet i avsevärd grad. Icke desto mindre har anläggningen de tre sista sommarhalvåren producerat ca 10 GWh kyla per år. I praktiken har därför mer kyla tagits ut från akviferen än vad som kunnat lagras in med det begränsade laddningsflöde man kunnat använda (maximalt ca 100 l/s), se figur 4.

Kompletterande undersökningar och förslag till effektivisering

Av det skäl som anförts ovan har Swedavia låtit utföra en rad kompletterande undersökningar och mätningar. Syftet med dessa har varit att få en fördjupad kunskap om hur akviferen reagerar under olika driftförhållanden. Med den konceptuella hydrogeologiska modell som efter hand vuxit fram och verifierats med mätningar har ett förslag till omkonstruktion av såväl brunnssystem som strategi för driften utarbetats och utgör nu underlag för prövning i Mark- och miljödomstolen.

I korthet innebär förslaget att akviferen hålls avsänkt under tröskelnivån för utflöde mot öster under vinterns inlagring av kyla. Detta föreslås bli gjort på flera sätt, men i huvudsak handlar det om ett kontrollerat uttag av grundvatten från den varma sidan under sensommar och höst. Målet är att sänka nivån i hela akviferen med omkring en meter under tröskelnivån. Detta i kombination med ett extra uttag under

vintern kommer att möjliggöra att ett större flöde än hittills kan användas vid inlagring under vinterns kallaste månader.

Med hjälp av en reviderad matematisk grundvattenmodell har beräknats att konceptet kan klara ett nära nog maximalt flöde (200 l/s) utan att vatten spills över tröskelnivån i öster.

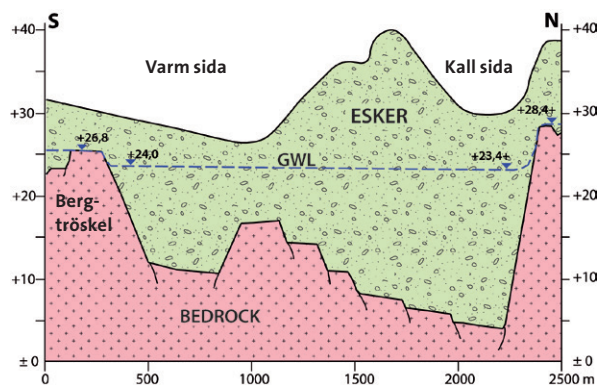
Till det nya konceptet hör också en ökad användning av Halmsjön som kylkälla, dels för direkt kylväxling under vår och höst då vattentemperaturen ligger under ca +8 °C, dels för en förstärkt inlagring av kyla vintertid. Det sistnämnda bedöms resultera i att överskottet på värme i akviferen elimineras samt att kvaliteten på inlagrad kyla höjs.

För att göra driftstrategin tekniskt möjlig krävs att ett antal nya brunnar anläggs. Dessa kommer att placeras på optimala ställen med tanken att minimera grundvattenhöjning i anslutning till utströmningsområdet i öster. En av brunnarna ska tjänstgöra som renodlad uttagsbrunn med utsläpp i Halmsjön.

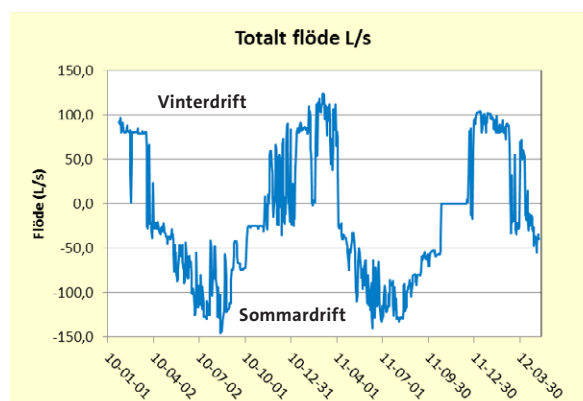
Alla åtgärder sammantaget förväntas skapa förutsättningar för en effektivare drift av akviferen. Detta gäller särskilt för systemets leverans av kyla, vilket är prioriterat eftersom flygplatsens kylbehov bedöms öka i framtiden.

Referenser

- Anderson, O., 2009: The ATES Project at Arlanda Airport. Technical Design and Environmental Assessment. *Proceedings Effstock 2009, The 11:th International Conference on Thermal Energy Storage, 14–17 June, Stockholm, Sweden.*
- Grundvattengruppen, 2012: *Arlanda-Akviferlagret. Konceptuell hydrogeologisk modell.* Täby, 2012-09-05.
- Grundvattengruppen, 2013: *Arlanda-Akviferlagret. Avstämning av den hydrogeologiska modellen mot förlängda observationsserier.* Täby, 2013-06-12.
- Sweco Environment AB, 2013: *Akviferlager Långåsen. Reviderad matematisk grundvattenmodell. Kalibreringar och driftsimuleringar.* Malmö, 2013-01-03.
- Sweco Environment AB, 2013: *Akviferlager Långåsen. Kompletterande tillståndsprövning. Teknisk beskrivning. Underlag för tillståndsprövning, daterad Sweco, Malmö, 2013-06-17.*



Figur 3. Längdprofil över lageraktiv del av åsen med nivåer på tvärgående avgränsande bergribbor. Grundvatten tillförs främst över den södra sidans bergtröskel.



Figur 4. Flöden som hittills använts vid inlagring och uttag av värme och kyla. Som grafen antyder har uttaget av kyla (negativa flöden) varit större än den kyla som kunnat lagras. Detta har lett till att akviferen har ett överskott på värme.

Hydrogeological classification as a tool to support regional scale groundwater assessment and modelling

Roland Barthel¹, Luis Samaniego², Rohini Kumar², Deliang Chen¹ & Andras Bardossy³

¹ Department of Earth Sciences, University of Gothenburg, Sweden

² Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ, Leipzig, Germany

³ Institute for Modelling Hydraulic and Environmental Systems, University of Stuttgart, Germany

Background and motivation

Integrated water resources management and climate change impact assessment have created a need for new scientific methodology for regional scale groundwater resources analysis. Regional scale groundwater resource assessment is so difficult because of the relative scarcity and the uneven distribution of data in space and time, paired with a large variability and heterogeneity of sub-surface conditions as well as uncertainty of structures and processes therein. Huge amounts of data are available, but it does not allow for a continuous description of regional scale groundwater systems, because of a lack of structural information, large gaps in space and time and unknown spatio-temporal dependencies.

Other disciplines (e.g. biometric analysis) use classification to bring order into unstructured and incomplete information, to reveal patterns and similarities, in order to understand better the dominating factors and processes at varying scales, to separate factors of influence, to detect dependencies, and to fill gaps in the space, time and observed parameters. In surface water hydrology Wagener et al. (2007), among others have proposed and developed catchment classification as a new concept. This concept has not yet been extended into the groundwater field.

Description of the new approach

Here we present the concept for a new approach which is aimed at identifying and integrating common features from different localities to reveal the characteristics and the functional behaviour of regional groundwater systems. We propose a novel framework that will comprise a new, generic, formalised groundwater system classification scheme based upon the similarity of geological structures and the observed dynamic behaviour of groundwater system, as well as a new scheme to analyse dependencies within groundwater data sets in a variety of dimensions.

The proposed concept is based on the hypothesis that similar groundwater systems respond similarly to similar impacts. At its core is the *classification* of (i) static hydrogeological characteristics (such as aquifer geometry and hydraulic properties), (ii) dynamic changes of the boundary conditions (such as recharge, water levels in surface waters) and (iii) dynamic groundwater system responses (groundwater head and

chemical parameters). Dependencies of system responses on explanatory variables will be used to map knowledge from observed locations to areas without measurements.

The foreseen approach will combine existing regionalisation methods with classical methods of multivariate analysis and novel methods, e.g. Copula (Samaniego et al. 2010) and Depth Functions (Bárdossy & Singh 2011). Hydrogeological a priori and regional expert knowledge are essential elements to support this approach. Classification and dependency analysis could finally lead to a new framework for groundwater system assessment on the regional scale as a replacement or supplement to numerical groundwater models and catchment scale hydrological models.

Extensive data sets and models from southern Germany (see e.g. Barthel 2011) and groundwater observations from Sweden will be used to carry out the analyses. The Swedish groundwater data set will be complemented by recently developed geological and geomorphological data sets, based on the analysis of LIDAR data (Torre Pässe, Göran Risberg, SGU, personal communication). The Swedish data is spatially and temporally less dense. This can be regarded as an advantage, as the Swedish data sets provide an excellent “real world” opportunity to test the approaches developed on the basis of the German data sets.

This contribution presents the main ideas underlying the approach, discusses the state of the art and presents preliminary results.

References

- Bárdossy, A. & Singh, S.K., 2011: Regionalization of hydrological model parameters using data depth. *Hydrology Research* 42, 356–371.
- Barthel, R., 2011: An indicator approach to assessing and predicting the quantitative state of groundwater bodies on the regional scale with a special focus on the impacts of climate change. *Hydrogeology Journal* 19, 525–546.
- Samaniego, L., Bardossy, A. & Kumar, R., 2010: Streamflow prediction in ungauged catchments using copula-based dissimilarity measures. *Water Resources Research* 46.
- Wagener, T., Sivapalan, M., Troch, P. & Woods, R., 2007: Catchment classification and hydrologic similarity. *Geography Compass* 1/4, 901–931.

Global change impacts on groundwater and water supply – an integrated modelling study from southern Germany

Roland Barthel¹, Tim G. Reichenau², Markus Muerth³, Christoph Heinzeller³, Karl Schneider², Rolf Hennicker⁴, Wolfram Mauser³, Tatjana Krimly⁵, Michael Elbers⁶, Anja Soboll⁷, Johann Wackerbauer⁸, Stephan Janisch⁴, Stephan Dabbert⁵, Jürgen Schmude⁷ & Andreas Ernst⁶

¹ Department of Earth Sciences, University of Gothenburg, Sweden

² Hydrogeography and Climatology, University of Cologne, Germany

³ Physical Geography and Remote Sensing, Ludwig-Maximilians-University Munich, Germany

⁴ Institute of Informatics, Ludwig-Maximilians-University Munich, Germany

⁵ Institute for Farm Management, Universität Hohenheim, Germany

⁶ Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Germany

⁷ Economic Geography and Tourism Research, Ludwig-Maximilians-of Munich, Germany

⁸ CESifo Group, Center for Economic Studies, Munich, Germany

Groundwater, human activities and climate are related in many different and often complex ways because of the existence of and strong interactions between various influencing factors, including those that are natural-environmental and socio-economic. Agriculture is a very interesting, demonstrative example of this, as negative impacts on either groundwater or agriculture may have direct or indirect effects that reach far beyond the domains of groundwater and agriculture, affecting or constraining other aspects of the environmental and socio-economic continuum (e.g. rivers or wetlands, freshwater availability for domestic and industrial groundwater applications). Climate change will likely influence the groundwater and agricultural domains in many direct and indirect ways (see Barthel 2011, Barthel et al. 2012). Beyond the effect of regional climate change, global societal change and changes in regional socio-economic conditions, which may arise in part through the anticipation of climate change (e.g. with regard to land use or water demand), result in a change of the natural and societal boundary conditions of the system, thus leading also to a change of the system's behaviour.

The GLOWA-Danube project was carried out by an interdisciplinary consortium of 17 research groups between 2001 and 2010 with the aim of providing an integrated approach to predicting changes in the hydrological cycle resulting from global change in the Upper Danube Catchment (UDC) in southern Germany (size 77 000 km², 11.5 million inhabitants). The central objective of GLOWA-Danube was the development of the integrated simulation system DANUBIA to simulate water-related influences of global change in different spatial and temporal contexts. DANUBIA is a modular system comprised of 17 dynamically-coupled, process-based model components and a framework that controls the interaction of these components with respect to space and time.

This contribution describes approaches and capabilities of DANUBIA with regard to the simulation of global change in

water-related fields with a focus on groundwater, water supply and agriculture. The DANUBIA simulation framework is presented together with the model components which are most relevant to the interactions between agriculture and groundwater. The approach for developing combination climate and socio-economic scenarios is explained (Soboll et al. 2011). Exemplary scenario results are shown for the UDC.

The principles of socioeconomic actor-modelling and interactions between socioeconomic and natural science model components (Barthel et al. 2008) will be briefly described here. We present selected simulations that show impacts on groundwater from changes in agriculture, tourism, economy, domestic water users and water supply. Despite decreases in water consumption, the scenario simulations show significant decreases in groundwater quantity.

References

- Barthel, R., 2011: An indicator approach to assessing and predicting the quantitative state of groundwater bodies on the regional scale with a special focus on the impacts of climate change. *Hydrogeology Journal* 19, 525–546.
- Barthel, R., Janisch, S., Schwarz, N., Trifkovic, A., Nickel, D., Schulz, C. & Mauser, W., 2008: An integrated modelling framework for simulating regional-scale actor responses to global change in the water domain. *Environmental Modelling & Software* 23, 1095–1121.
- Barthel, R., Reichenau, T.G., Krimly, T., Dabbert, S., Schneider, K. & Mauser, W., 2012: Integrated modeling of global change impacts on agriculture and groundwater resources. *Water Resources Management* 26, 1929–1951.
- Soboll, A., Elbers, M., Barthel, R., Schmude, J., Ernst, A. & Ziller, R., 2011: Integrated regional modelling and scenario development to evaluate future water demand under global change conditions. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 16, 477–498.

Dricksvatten – sårbart och inte minst i ett förändrat klimat

Mats Bergmark, utvecklingsstrateg

Räddningstjänsten Medelpad, Björneborgsgatan 40, 854 60 Sundsvall

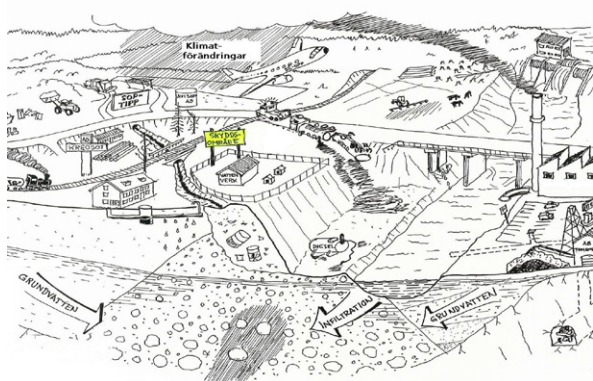
Tidigare bland annat produktionschef på MittSverige Vatten, samt ansvarig utredare för dricksvatten i Klimat- och sårbarhetsutredningen.

Vattenförsörjning i förändrat klimat

Att klimatet redan idag är påverkat blir alltmer tydligt. Vad det betyder för oss idag och i framtiden är en utmaning att förstå. Självklart är det kunskaper som successivt kommer att växa fram under decennierna framöver, inte minst i takt med nya forskningsresultat, erfarenheter samt händelser som inträffar.

Dricksvatten kan påverkas på flera sätt, men med lokala skillnader (fig. 1). Hösten 2007 gav vi i Klimat- och sårbarhetsutredningen några ”framtidsråd” till kommuner, myndigheter och regeringen. I stora drag tror jag att dessa råd fortfarande gäller:

1. Det är viktigt att analysera lokala sårbarheter för varje vattenförsörjningssystem.
2. Skydda vattentäkter mot ökande risker för både kemiska och mikrobiologiska föroreningar.
3. Där behov finns, öka den mikrobiologiska säkerheten vid beredning av dricksvatten.
4. Vidta åtgärder för att klara de förändringar som uppstår i råvattnets kemiska och biologiska kvalitet.
5. I främst sydöstra Sverige kan åtgärder behöva göras för att hantera en minskad vattentillgång.
6. Hantera större påfrestningar på distributionssystemen, exempelvis ökande ras- och skredrisker.
7. Ha en ökad beredskap för att hantera störningar på grund av extremt väder.



Figur 1. Vattentäkter kan vara sårbara och ett förändrat klimat kan öka riskerna.

8. Uppföljning och forskning om klimatförändringarnas påverkan på svensk vattenförsörjning.
9. Utbildnings- och informationsinsatser om klimatförändringarnas betydelse för vattenförsörjning.

Minnen som jag inte glömmer och reflektioner

En av de viktigaste åtgärderna är att minimera riskerna för föroreningsspridning till vattentäkter, speciellt då en ökad och intensivare nederbörd annars riskerar att öka föroreningssrisker. Mina egna minnen från översvämningarna i Västernorrland i september 2001 har etsat sig fast. Storleken på dessa översvämningar kan beskrivas med de kostnader som uppstod i samhället, omkring 400 miljoner kronor.

Översvämningarna drabbade Sundsvall. Jag jobbade då i Sundsvalls krisledningsstab, men var på den tiden också ansvarig för Sundsvalls 15 kommunala vattentäkter. Där hanterade vi flera störningar och hot. Ändå klarade sig de flesta vattentäkter hyfsat bra, men det var ibland med mer tur än skicklighet.

Som ett exempel så skedde plötsligt en olycka. Från olycksområdet rann översvämningssvatten i ett dike raka vägen ned till ett brunnssområde. Rena turen gjorde att diesel inte hamnade i det översvämmade diket. Det hade vid det tillfället direkt slagit ut vattentäkten. Men även om så hade skett, så hade inte ens jag som ansvarig för dricksvattnet känslomässigt brytt mig så mycket om det. Olyckan hade tagit flera unga människoliv.

Samtidigt som vi kämpar med våra händelser så inträffar en händelse som påverkar hela världen den 11 september. Det påverkade förstås även oss och plötsligt så minskade antalet journalister, som fram till händelserna i New York hade bevakat våra översvämningar i stort sett dygnet runt.

Någon gång har jag tänkt tanken – Om någon hade hittat på allt detta i ett övningsscenario i en krisberedskapsövning, så hade säkert flera deltagare sagt att övningsscenarioet varit osannolikt.

Slutsats – vi har ett viktigt jobb att göra

Att förhindra att svensk vattenförsörjning påverkas av ett förändrat klimat är nog svårt. Det kommer att hända saker, både mer sannolika scenarier, men kanske även sådant som vi har svårare att förutse. Men det som vi definitivt kan göra är att jobba för att minska riskerna för allvarliga konsekvenser.

Föroreningar i grundvatten – långlivade kvarlevor av industrisamhället

Erik Bergstedt

Sveriges geologiska undersökning, Kiliansgatan 10, 223 50 Lund

Vanliga historiska föroreningar

En översiktlig redogörelse ges över de vanligast förekommande föroreningarna i mark och grundvatten och hur de är kategoriserade.

Olika egenskaper och uppträdande

För några av de vanligast förekommande förorenade ämnena presenteras deras egenskaper och uppträdande i mark och grundvatten.

SGUs roll inom förorenade områden

Därefter presenteras SGUs roll i utredning och åtgärdande av förorenade områden i Sverige, samt ges exempel på några av våra aktuella projekt med olika typer av föroreningar.

Exempel på SGU-projekt

Som exempel på kategorin klorerade lösningsmedel presenteras ett pågående utredningsprojekt där det finns en mycket omfattande förorening i en isävlavlagring. Området har undersökts i flera omgångar, främst beroende på de aktuella föroreningarnas karaktär och egenskaper och områdets geologiska komplexitet.

Som exempel på kategorin organiska bekämpningsmedel presenteras ett pågående projekt i åtgärdsfas där klorfenoler ska behandlas in situ i jordlagren under hösten 2013.

Som exempel på kategorin oorganiska bekämpningsmedel presenteras ett åtgärdsprojekt där en arsenikförorening efterbehandlades för något år sedan.

PFOS i grundvatten

Jonas Bermin¹ & Per Johansson²

¹ WSP Environmental, Box 574, 201 25 Malmö

² WSP Environmental, 121 88 Stockholm-Globen

PFOS i människans tjänst

Perfluoroktansulfonat (PFOS) är ett syntetiskt ämne som har tillverkats sedan slutet av 1940-talet. De fysikaliska och kemiska egenskaperna hos PFOS gjorde att ämnet blev väldigt attraktivt när det kom ut på marknaden. Egenskaper som att vara både hydro- och lipofobiskt tillsammans med dess kemiska stabilitet, vilken fås på grund av de mycket starka kemiska bindningarna mellan kol- och fluoratomer, gör att ämnet lämpar sig mycket väl till att skapa vattentäta eller fläckrepellerande skikt på olika material. Ämnet har även använts i stor omfattning som en beståndsdel i brandsläckningsmedel. Dess egenskaper hjälper där till att skapa ett skum som snabbt kan sprida sig över till exempel en brinnande vätska samtidigt som ämnets struktur inte förstörs.

PFOS i naturen

Problemet med PFOS uppkommer då det lämnar den tillräkta tillämpningen som den var avsedd för och istället sprider sig till djur och natur, ofta via yt- och grundvatten. Då PFOS-molekylen kommer ut i naturen behåller den sina egenskaper som gör att den inte bryts ner utan istället sprider ut sig över stora områden. Idag återfinns mätbara halter av PFOS i alla vattendrag på jorden. Ämnet bioackumuleras i djur och det har visats vara skadligt på flera olika sätt för en mängd olika djur och för människor.

PFOS-undersökningar i naturen

Halten av PFOS bestäms genom laboratorieanalyser av prover av det undersökta materialet, vilket kan vara vatten, jord, biologiskt material som t.ex. muskelvävnad eller andra material. Halterna kan följas genom att tidsserier skapas med upprepade analyser i syfte att undersöka hur halterna varierar över tiden.

Variationer i halter kan uppstå om det finns en ny utsläppskälla eller om man, som görs på ett antal platser i Sverige idag, sanerar PFOS.

Sanering av PFOS

PFOS i vatten saneras genom att man pumpar vatten genom ett kolfilter. I nästa steg destruerar man den PFOS som har samlats upp genom förbränning vid hög temperatur. PFOS i jord kan antingen stabiliseras med olika åtgärder eller schaktas upp varefter jorden behandlas i hög temperatur.

Exempel från verkligheten

WSP har på uppdrag av Swedavia utfört en omfattande PFOS-undersökning vid och omkring Sturups flygplats. Anledningen till undersökningen är att det släckskum som tidigare användes vid brandövningsplatsen innehöll PFOS. Efter att ämnet påträffats har WSP utfört ett stort arbete i att kartlägga utbredningen och omfattningen av föroreningen. Det visade sig snabbt att föroreningen har förflyttat sig med hjälp av de vattenvägar som fanns tillgängliga till ett område som ligger långt bort ifrån flygplatsen. För att bättre förstå hur denna spridning har gått till har flera undersökningar utförts.

Exempel på provtagningar, spridningsberäkningar och resultat kommer att presenteras tillsammans med en bedömning av de konsekvenser de påträffade halterna kan ge.

WSP har även en reningsanläggning stående inne på flygplatsområdet som kontinuerligt renar det grundvatten som bildas vid brandövningsplatsen. Reningsanläggningen kommer att beskrivas i föredraget för att visa på möjligheterna att sanera en PFOS förorening.

Riparian zone control on DOC in boreal headwater streams: does this amplify the climate response?

Kevin Bishop^{1,2}, Mattias Winterdahl^{2,3}, Jose Ledesma² & Thomas Grabs¹

¹Uppsala University, Department of Earth Sciences

²Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Aquatic Sciences and Assessment

³Stockholm University, Department of Physical Geography & Quaternary Geology

Dissolved organic carbon (DOC) plays an important role in drinking water quality. Key controls on the DOC dynamics in natural waters include discharge, soil moisture and soil temperature, all of which are anticipated to change in a warmer future climate. To study possible changes in the DOC dynamics in boreal areas, we conducted a simulation study based on down-scaled climate data from the Hadley GCM, and the Riparian Profile Flow-Concentration Integration Model (RIM, Seibert et al. 2009) for modelling dissolved organic carbon in forested headwater catchments.

Development of the RIM model using observed stream and soil water TOC data from Sweden's four integrated monitoring catchments for the years 1995–2010 identified soil temperature as a key factor in defining the influence of the riparian soil on runoff DOC. This means that an expected future shift in the timing of flows from spring with colder soils to autumn with warmer soils, could amplify the effects of climate change on stream DOC.

For the future climate simulation study we used down-scaled precipitation and air temperature data from a RIM to run the Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning (HBV) rainfall-runoff model to simulate future discharge and a simple empirical model to simulate soil temperature.

The HBV, RIM and soil temperature model were calibrated using data from the integrated monitoring (IM) catchments from different regions of Sweden (Fig. 1). The discharge and soil temperature data were then used as input data to the RIM, using the behavioural parameter sets to simulate future DOC dynamics.

The RIM model predicted that the future climate, with an increase in runoff, and a shift in the timing of runoff from the spring to the autumn, will increase annual mean DOC concentrations by 15–30%. A purely statistical analysis of the same DOC data suggested that the increase in median DOC under a future climate would be less than half of this, and Erlandsson et al. (2008), using 30 years of data from some 30 rivers, predicted that the future climate would increase DOC by just 6%, also using statistical techniques. We believe that these results not only show the sensitivity of DOC to climate change, but also the importance of using process-understanding to predict the effects of climate change, rather than just statistical methods

References

- Erlandsson, M., Buffam, I., Fölster, J., Laudon, H., Temnerud, J., Weyhenmeyer, G. & Bishop, K., 2008: 35 years of synchrony in the organic matter concentrations of Swedish rivers explained by variation in flow and sulphate. *Global Change Biology* 14, 1–8, doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01551.x
- Seibert, J., Grabs, T., Laudon, H., Winterdahl, M. & Bishop, K., 2009: Linking soil- and stream-water chemistry based on a riparian flow-concentration integration model. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 13, 2287–2297.
- Winterdahl, M., Futter, M., Grabs, T. & Bishop, K., 2013: Sensitivity of dissolved organic carbon in boreal streams to temperature and runoff. Paper III In M. Winterdahl: Intra-annual variability of natural organic matter in boreal streams: patterns and controls. *Doctoral Thesis, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae* 2013:1. Swedish University of Agricultural Sciences. ISSN 1652-6880, ISBN 978-91-576-7758-7.

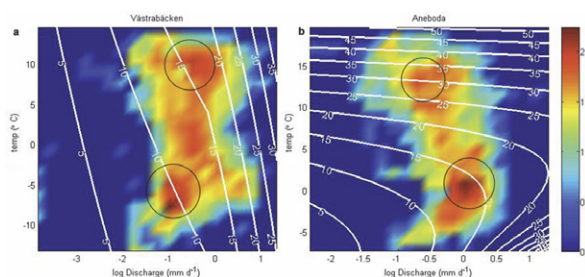


Figure 1. From Winterdahl et al. 2013. Two-dimensional distribution of discharge (Q) and temperature (T) in a) Västrabäcken and b) Aneboda. White contours indicate RIM simulated DOC concentrations and black circles show approximate locations of summer and winter conditions used in the analyses (see text for details). The Q-T distribution is scaled and figures show the logarithm of discharge for clarity.

Grundvatten – utformning av provtagningspunkter och utförande av provtagning

Anders Blom

Sweco Environment AB, Gullbergs Strandgata 3, 403 14 Göteborg, anders.blom@sweco.se

Utformning av provtagningspunkter

Grunderna för att utforma provtagningspunkter och utföra en provtagning på ett bra sätt har varit kända lång tid (SGF Fälthandbok2004). Trots det stöter man gång på gång på provpunkter och provtagningar som utförts på sådant sätt att resultatet inte håller tillräcklig noggrannhet. Jag vill därför lyfta fram till stor del redan känd kunskap med förhoppningen att den eller de personer som berörs tänker till och nyttjar den kunskap som redan finns, istället för att bara utföra dessa uppdrag slentrianmässigt. Hög kvalitet på indata lägger grunden för väl genomförda uppdrag.

Vad är syftet?

Det viktigaste vid utformning av provtagningspunkter är att veta syftet med provpunkterna, varför ska prov tas och hur länge ska provtagningen pågå?

Placering av provtagningspunkt

Placeringen i terrängen av provpunkten ska vara sådan att man uppfyller syftet. Letar man föroreningar från ett industriområde gäller det att ha en uppfattning om områdets geologiska uppbyggnad samt den hydrogeologiska situationen i området så att en idé om strömningsmönster för grundvattnet finns. Det är t.ex. inte relevant att leta efter en lätt petroleumprodukt (LDNAPL) långt under grundvattenytan.

Material i provtagningsrör

Materialet i provtagningsröret påverkar omgivande grundvatten och därmed det prov som tas. Val av material styrs därför av vilka ämnen som söks, hur länge provpunkten ska finnas kvar, områdets geologi, undersökningsmetod m.m. Viktigare än att välja rätt material är dock att försöka maximera möjligheten att omsätta vattnet i provpunkten på ett bra sätt.

Utförande av provtagningspunkt

För att kunna installera ett provtagningsrör kan flera olika metoder användas, från den enklaste form av handgrävning till foderrörsboring med stora borrhjull. Vilken metod som är lämpligast styrs av syftet med provtagningspunkten, men givetvis även de geologiska förhållandena samt ekonomin (fig. 1). Efter det att grundvattenröret installerats ska det rensas pumpas innan det är klart för provtagning. Renspumpning utförs för att finpartiklar i den påverkade delen av marken i möjligaste mån ska avlägsnas innan provtagning sker. Motivet är att dessa partiklar under normala förhållanden inte rör sig i marken och då heller inte ska följa med vid provtagningen.

Omsättning av provtagningspunkt

Vattnet som finns i ett provtagningsrör påverkas av såväl materialet i röret som av luften i röret. Det är därför viktigt att

det gamla vattnet pumpas bort innan provtagningen och att nytt grundvatten som är representativt för omgivningen får rinna in i provtagningsröret innan prov tas.

Provtagning

Beroende på provpunktens utformning och de analyser som ska göras så kan olika provtagningsmetoder användas, t.ex. sugande eller tryckande pumpar, eller någon form av hämtare. Vid provtagningen är det viktigt att de naturliga förhållandena påverkas så lite som möjligt, dvs. ju mindre avsänkning desto bättre. Luftning av prov ska undvikas. Samtidigt finns andra faktorer att ta hänsyn till, t.ex. tillgänglig tid. Är tillrinningen i röret riklig tas provet ofta direkt efter att omsättning utförts. Det är viktigt att veta syftet med provtagningen och om syftet medger att omsättning och provtagning sker på planerat sätt.

Dokumentation vid provtagning

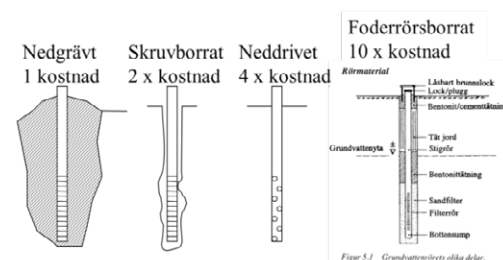
Vid provtagningen gäller det att dokumentera. Det som inte verkar vara viktigt för stunden kan i ett senare skede förklara konstiga provresultat. Provtagningsförfarande, grundvattennivå, väder, medverkande och delar av arbetet som gick fel är exempel på sådant som bör dokumenteras.

Certifierad provtagare

Det finns numera ett flertal kurser på olika nivåer i hur provtagningspunkter ska utformas och installeras samt hur provtagning ska utföras. I samband med vissa av kurserna finns möjlighet att avlägga prov och kunna bli certifierad grundvattenprovtagare. Min uppfattning är att hittills genomförda kurser och certifieringar påtagligt har höjt lägstanivån i kunskap bland de som jobbar med dessa frågeställningar. I olika upphandlingar efterfrågas det allt oftare en certifierad grundvattenprovtagare, eller någon med motsvarande kunskap. Detta är bra.

Referenser

SGF Fälthandbok Miljötekniska markundersökningar. Rapport 1:2004.



Figur 1. Storleksordning på kostnadsförhållande mellan olika installationsmetoder.

Grundvattenbildning – en besvärande datalucka?

Anders Blom

Sweco Environment AB, Gullbergs Strandgata 3, 403 14 Göteborg, anders.blom@sweco.se

Syftet med detta abstract är att lyfta fram frågeställningen med avseende på grundvattenbildningens storlek och att väcka tankar om att mer forskning behövs på området.

Behov av vattenbalansberäkningar

Många gånger finns behov av att kunna göra vattenbalansberäkningar över ett område, t.ex. vid:

- Bedömning av möjligt grundvattenuttag.
- Påverkan från anläggningsarbeten.
- Körning av grundvattenmodeller.
- Upprättande av vattenskyddsområden.

Vid vattenbalansberäkningar är vanligen de flesta parametrar relativt enkla att skatta till storleksordning, men svåra att mäta exakt. Trots detta är dessa överslagsberäkningar mycket användbara.

Av central betydelse i vattenbalansberäkningarna är att grundvattenbildningen kan anges så korrekt som möjligt. I praktiken sker grundvattenbildning till akvifärer huvudsakligen under våren i samband med snösmältning samt under hösten när vattenupptaget från vegetationen minskar, temperaturen sjunkit och regnen ofta har en längre uthållighet.

Modell för bedömning av grundvattenbildning

Nettonederbörden, den del av nederbörden som når markytan eller vattendrag, utgör skillnaden mellan korrigerad nederbörd (mäts och beräknas) och avdunstning (beräknas). Många undersökningar visar att huvuddelen av nettonederbörden i någon omfattning bildar grundvatten innan den blir till ytvatten och rinner av från området. Om det över en längre tid inte sker någon förändring i den magasinerade vattenvolymen i ett område så motsvarar i stora drag avrinningen (ytavrinning + grundvattenavrinning) från ett område nettonederbörden över området. Ofta är grundvattenavrinningen försumbar i förhållande till ytavrinningen, och nettonederbörden kan därför approximativt sättas lika med ytavrinningen (vilken är relativt lätt att mäta).

Grundvattenbildningskoefficienten

Ett mått på grundvattenbildningen kan därmed erhållas om nettonederbörden (eller ytavrinningen) multipliceras

med en faktor, grundvattenbildningskoefficienten, vilken anger hur stor del av nettonederbörden som slutligen bildar grundvatten. Hur stor andel av nettonederbörden som bildar grundvatten beror bland annat på jordart. En större andel av nederbörden på isälvsmaterial bildar grundvatten än på t.ex. moränmark.

Några erfarenhetsmässigt baserade antaganden om grundvattenbildningskoefficienten i Västra Götaland är: isälvsmaterial (grus i markytan) 1,0, isälvsmaterial (bevuxen) 0,8, morän 0,5, berg i dagen 0,1. De här angivna värdena på grundvattenbildningskoefficienten är inte alltid representativa, speciellt om det är andra geografiska områden som avses, men storleken torde vara rätt, och det är inte sannolikt att angivna värden skulle vara fel med mer än en faktor 1–3 gånger. Detta ska jämföras med faktorer i andra hydrauliska beräkningar som varierar med flera tiopotenser, t.ex. transmissivitet.

Att kunna nyttja grundvattenbildningen vid vattenbalansberäkningar i samband med bedömning av uttagsmöjligheter från ett område är därför i vissa fall mycket användbart även om det finns påtaglig osäkerhet i grundvattenbildningskoefficienten.

Behov av mer undersökningar av grundvattenbildning

Grundvattenbildning sker endast i inströmningsområden. Vid uttag av grundvatten från en akvifär kommer grundvattenytan sänkas och tidigare utströmningsområden övergå till inströmningsområden, liksom grundvattendelare kommer att ändra läge så att tillrinningsområdet blir större. Av dessa anledningar ökar grundvattenbildningen vid uttag av grundvatten.

Att bestämma grundvattenbildningen för ett område är således en delikat uppgift med många ingående faktorer som varierar med tid, geografiskt läge, geologi, uttag av grundvatten m.m. Att ange en grundvattenbildningskoefficient som gäller generellt för en jordart inom ett visst geografiskt område bör dock vara möjligt, men det är troligen spannsom får anges på samma sätt som det finns uppgifter om storleken på hydraulisk konduktivitet. Detta skulle vara till stor nytta vid t.ex. överslagsberäkningar av den uttagbara vattenmängden för ett område.

Grundvattenarbete i Göteborg – övervakning, historisk påverkan och erfarenheter av miljömålsuppföljning

Niklas Blomquist, Anna Maria Edvardsson, Lars Bergström & Malin Klarqvist

Göteborgs Stad, Stadsbyggnadskontoret – Strategiska avdelningen, Göteborg

Göteborgs stad har mätt grundvattennivåer under lång tid och har utvecklat ett system för löpande övervakning. Mätningarna ger underlag för miljömålsarbetet men målen bedöms otydliga och svåra att uppfylla. Vi anser att miljömålet för god grundvattenkvalitet behöver preciseras och att uppföljning bör ske utifrån tidpunkten när miljömålet inrättades. Att återställa påverkan som är resultatet av 40 års stadsutveckling bedöms oralistiskt.

Grundvattenmätning i göteborg

Grundvattenmätningar har utförts regelbundet i Göteborg sedan 1970-talet. Sedan år 2009 har Stadsbyggnadskontoret utvecklat en metodik för löpande övervakning. Idag omfattar övervakningen ett kontrollprogram med 140 mätpunkter som mäts sex gånger per år. Manuella mätningar kompletteras med automatisk mätning i ett antal referenspunkter. Syftet med grundvattenmätningarna är att övervaka grundvattennivåsituationen, insamla referensdata och ge underlag för miljömålsuppföljning. Den löpande övervakningen är inriktad på att uppmärksamma större avvikelser och till hjälp används en databas med verktyg för löpande utvärdering och olika typer av larmfunktioner. Mätningarna redovisas i en PM som förutom larmredovisning även rymmer information om bedömd grundvattensituation, nederbördsdata och referensmätningar ur SGUs observationsnät. Mer utförlig redovisning sker i en årsrapport där bl.a. årets mätningar analyseras utifrån eventuella långtidstrender. Tillgängligheten till mätningarna kommer inom kort att förbättras då Stadsbyggnadskontoret inlett ett arbete med att göra dessa data åtkomliga via internet.

Miljömålsuppföljning

Göteborg har antagit ett lokalt miljö kvalitetsmål för grundvatten av god kvalitet som har sitt ursprung i tidigare nationellt delmål. Det anger att användningen av mark och vatten inte får medföra ändringar av grundvattennivåer som ger negativa konsekvenser för grundläggning och markstabilitet. Staden har utarbetat bedömningsgrunder för uppföljning av miljömålsstatus utifrån sättningsrisk, känd sättningsproblematik och grundvattennivåtrend. En sådan utvärdering visar att god status uppnås i 12 av totalt 24 delområden. Orsaken till att god status bara uppnås i hälften av områdena är att grundvattennivåerna i Göteborg på många platser är avsänkta och att grundvattenrelaterade sättningar och sätt-

ningsskador förekommer. Det finns flera orsaker till sättningsproblematiken men till stor del beror den på de större avsänkningar som inträffade i samband med utbyggnaden av stadens tunnelsystem som pågick under 1960–70-talet. Även om många skadeförlopp till stor del beror på historisk påverkan och att senare utveckling kännetecknas av stigande nivåer så kan inte dagens nivåer uteslutas bidra till pågående sättningsförlopp. Nivåsituationen sedan miljöbalkens och miljömålets införande har dock varit stabil.

Historisk påverkan

För att få en uppfattning om storleken på dagens påverkan har nuvarande nivåer jämförts med nivåer från tiden innan påverkan. Resultatet visar att ca 80 % av mätpunkterna har avsänkta nivåer. Om målsättningen är att återställa grundvattennivåerna i sättningskänsliga områden krävs ett hundratal infiltrationsanläggningar till en betydande kostnad. Investeringskostnaden uppskattas till 50–60 miljoner kronor och driftskostnaden lika mycket under en tioårsperiod. Även om en sådan återställning vore tekniskt möjlig innebär det risk för stora skador på anläggningar och byggnader som anpassats efter avsänkta förhållanden.

Precisering av miljömål krävs

Det kan konstateras att Göteborgs stad i dagsläget inte lyckas uppfylla miljö kvalitetsmålet gällande grundvattennivåer. Till stor del beror dock detta på miljöpåverkan och skadeförlopp som påbörjades innan miljöbalken infördes. Stadsbyggnadskontoret anser att det finns ett behov av att precisera miljömålet och vilken nivåsituation som ska gälla som utgångspunkt för vidare åtgärdsarbete. En återställning av grundvattennivåer i Göteborg bedöms inte realistisk och miljömålsuppföljning föreslås istället ske utifrån tidpunkten för miljöbalkens införande. Detta skulle förändra Göteborgs förutsättningar att nå miljömål gällande grundvattennivåer och ge ett mer realistiskt utgångsläge för vidare miljömålsarbete.

Tack

För hjälp med utrednings och utvecklingsarbete: Jenny Johansson, Ulf Clevfors, Anders Strandanger, Johanna Larsson på Cowi, Roger Oscarsson, Ove Bramstäng och Marcus Johansson på ÅF. Karin Bergdahl som initiativtagare till arbetet för Stadsbyggnadskontorets räkning numera på SGI.

Förstärkt självrening av grundvatten förorenat med klorerade alifater – pågående pilottest

Helena Branzén, Lennart Larsson, Märta Ländell & Ole Stubdrup

Statens geotekniska institut, 581 93 Linköping

Bakgrund och syfte

Förstärkt självrening av klorerade lösningsmedel genom biostimulering (tillsats av kolkälla) eller biostimulering tillsammans med bioaugmentation (tillsats av mikroorganismer) är internationellt sett väl beprövade saneringsmetoder in-situ för grundvatten. Saneringsmetoderna anses generellt vara hållbara åtgärdsval och teknikerna kan, med rätt förutsättningar, vara mycket kostnadseffektiva. Metoderna tillämpas dock fortfarande endast i liten utsträckning i Sverige.

För att stärka acceptansen och förbättra förutsättningarna för framgångsrika saneringsresultat genomför SGI i samverkan med SGU ett pilottest där bland annat beslutsunderlag för förstärkt självrening utvärderas. Beslutsunderlagen i detta fall är kommersiellt tillgängliga provtagningsstekniker samt en provtagningssteknik som är under utveckling. Utvärderingen görs via analys av grundvatten, konstgjort material för efterhärming av jord (s.k. Bio-Traps) och via jord tagen från platsen och nedsänkt i grundvatten in situ (s.k. mesocosmer).

Samtliga provtagningsmedier analyseras med kvantitativ polymerasanalysteknik (pPCR) för mikrobiellt innehåll. På grundvattenprover analyseras $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ (CSIA – compound specific isotope analysis) för bestämning av nedbrytningsgrad. Vanligen tillämpad metod för utvärdering av förutsättningarna för förstärkt självrening är att vattenprov analyseras för innehåll av speciella mikroorganismer, t.ex. *Dehalococcoides* spp. I projektet görs en utvidgad analys av mikroorganismssamhället: specifika bakteriearter via qPCR samt strukturella grupper via PLFA (Phospholipid-derived fatty acids) samtidigt som grundvattnets geokemiska utveckling löpande dokumenteras.

Resultat från analysen väntas visa effekterna av biostimulering respektive bioaugmentation. I teorin bör mikroorganismssamhället i jorden ge mer trovärdig respons på stimulering (mer rättvisande spegla markens nedbrytningsförmåga), jämfört med utvecklingen i grundvatten. Mikroorganismernas respons är delvis avgörande för om metoden bedöms lämplig för objektet, för dimensionering av saneringen samt för att kunna förutse det slutliga saneringsresultatet.

Projektet är ett utvecklingsprojekt som bedrivs i samarbete mellan en extern finansiär (Tvätteriet Alingsås), SGI och SGU med Linköpings universitet som expertstöd. Det övergripande målet att generera dataunderlag, erfarenhet och sprida kunskap om avgörande faktorer i förstärkt självrening.

Preliminära resultat

Pilottestområdet är ett område med naturligt lågt innehåll av mikroorganismer. Förundersökningen har visat liten före-

komst av mikroorganismer kända för att ha förmåga att bryta ned klorerade lösningsmedel via deklorering. Vid inledande bakgrundskaraktärisering indikerades samma låga nivåer eller till och med lägre innehåll av nödvändiga deklorerande mikroorganismer jämfört med tidigare förundersökning. Utgångsläget inför biostimuleringen var således att stimulering via fermentation av kolkälla skulle ”väcka” inaktiva bakterier men att genomförandet möjligen skulle ta längre tid än från början beräknat. Detta visade sig också riktigt.

För att mikrobiell deklorering av klorerade alifater ska kunna genomföras måste redoxpotentialen vara så låg att andra naturligt förekommande elektronacceptorer, som konkurrerar med den klorerade alifaten om väte i dekloreringssteget, redan reducerats i tillräcklig grad (exempelvis syre, nitrat, mangan(IV), järn(III) och sulfat). Redoxpotentialen bör således pendla runt -150 till -200 mV för att optimala förutsättningar för deklorering ska råda. I testområdet tillfördes en kolkälla som, via fermentation, genererade önskvärda förhållanden. Kolkällan bestod av snabbfermenterande socker (melass) samt långsamt fermenterande sojaböneolja. Hittills visar analyser av indikatorparametrar att det i testområdet tar mer än sex månader efter biostimulering för att uppnå optimala förutsättningar för reduktiv deklorering.

Analys av klorerade alifater indikerar att deklorering sker (samliga dekloreringsprodukter av PCE ned till slutprodukten eten förekommer). Analys av $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ -isotoper visar att haltningsminskningar av förorening inte är skenbara, orsakade av utspädning eller koncentrationsvariationer beroende av t.ex. provtagningssteknik, utan till betydande del beror på mikrobiell nedbrytning. Via de tyngre kolisotopernas anrikning i modernmaterial visas att mikroorganismer deklorerat C–Cl-bindningar av den lättare ^{12}C -isotopen. Nedbrytningsgraden beräknad via isotopkvoter uppskattas exempelvis till mellan 20 och 40 % för PCE i de olika provtagningsrören.

Skillnader i analysresultat mellan grundvattenanalys, Bio-Traps och mesocosmer har på grund av lågt totalt mikrobiellt innehåll ännu inte kunnat utvärderas. I skrivande stund planeras nästa mikrobiella analysomgång av samtliga tre medier, grundvatten, Bio-Trap och mesocosm, till september.

Slutsatser

Projektet är pågående, vilket gör att inga säkra slutsatser kan dras i detta skede.

Utvärdering av grundvattenprovtagning för pH- och redoxkänsliga ämnen

Helena Branzén¹, Jenny Vestin², Dan Berggren Kleja³, Yvonne Ohlsson³ & Michael Pettersson³

¹Statens geotekniska institut, Adelgatan 19, 211 22 Malmö

²Statens geotekniska institut, Universitetsallén 32, 851 71 Sundsvall

³Statens geotekniska institut, Kornhamnstorg 61, 1 tr, 111 27 Stockholm

Bakgrund och syfte

Grundvattenprovtagning utförs ofta för att bestämma föroreningsinnehåll i ett vatten. Analysresultaten används därefter för att bedöma vilken exponeringsrisk som människor eller djur utsätts för, eller i vilken omfattning en förorening sprids med grundvattnet. För att kunna bedöma riskerna med ett förorenat område är det viktigt att analysresultaten återspeglar de förhållanden som råder i grundvattenzonen. Provtagningsförfarande och hantering av ett uttaget prov påverkar ett vattenprov men i vilken utsträckning tas hänsyn till detta i samband med föroreningsundersökningar? Den använda provtagningsutrustningen, hastighet med vilken vattnet pumpas, exponering för luft eller filtrering av ett prov kan leda till att metaller fälls ut, att de filteras bort eller att flyktiga föroreningar förångas. Syftet med SGIs projekt har varit att bedöma behovet av ytterligare vägledningsmaterial, behov av kunskapshöjande insatser eller om mer forskning – med särskilt fokus på grundvattenprovtagning av pH- och redoxkänsliga ämnen – behövs. Projektet har genomförts genom att svenska vägledande dokument utvärderats (dokument avsedda som stöd vid miljöundersökningar) avseende anvisningar för hur provtagning av pH- och redoxkänsliga ämnen bör utföras. Dessutom har miljökonsulter och laboratorier intervjuats för att utreda de faktiska tillvägagångssätten vid fältprovtagning, provhantering och analys.

I projektet har arsenik använts som exempelförorening då en stor del av de prioriterade förorenade områdena har arsenik som primär förorening (Naturvårdsverkets lägesbeskrivning över efterbehandlingsläget i Sverige, Naturvårdsverket 2012). Arsenik förekommer naturligt med flera olika oxidationstal både i organiska och i oorganiska föreningar. På grund av detta kan provtagningsförfarande och provhantering i hög grad påverka analysresultaten när halten arsenik ska bestämmas i grundvatten.

Resultat

Genomgången av vägledningsmaterial visar att materialet är bra utformat när det gäller generella provtagningar men att inga specifika råd ges för provtagning av särskilt redox-

känsliga ämnen. Detta förutsätter att konsulter och fälttekniker har tillräckliga kunskaper och själva uppmärksammar förhållanden. För att vidta åtgärder måste också projektets ekonomi kunna tillåta ett varierat provtagningsutförande.

Intervjuerna visar att konsulter i flera fall känner sig osäkra när det gäller tillvägagångssätt vid provtagning av redoxkänsliga ämnen. Det upplevs som svårt att ge entydiga instruktioner till fältprovtagare och det saknas en standardisering, dvs. olika konsultföretag och även olika arbetsplatser inom samma företag kan ha olika tillvägagångssätt i fält. Analyslaboratorierna arbetar enligt vissa standarder och förutsätter att konsulter som samlar in prover är medvetna om arbetsgången och den standard som följs. För att kunna planera en bra provtagning, oavsett geokemiska förhållanden i grundvattnet, bör konsulten veta vilka ämnen som är särskilt känsliga och veta vilket provtagnings sätt som är lämpligast. Konsulten bör också veta hur det prov som lämnas in kommer att hanteras och varför det hanteras på det sättet. Sådan kunskap finns hos enskilda handläggare men upplevs av de intervjuade konsulterna inte vara allmänt spridd.

Slutsatser

Tillvägagångssättet för att provta och mäta pH- och redoxkänsliga ämnen i grundvattnet varierar, dels mellan olika företag, dels internt inom ett och samma företag. Trots att den teoretiska kunskapen finns hos enskilda handläggare finns det en osäkerhet i vilka instruktioner som ska förmedlas ned på provtagarnivå och befintlig kunskap omsätts inte. Projektets slutsats är därför att det finns ett behov av att förbättra och sprida kunskap, samt generellt öka förståelsen för grundvattenkemi och redoxförhållanden. I förlängningen menar projektet att detta skulle ge förutsättningar för att genomföra bättre riskbedömningar av förorenade områden.

Referenser

Naturvårdsverket, 2012: Efterbehandlingsåret 2011 – Lägesbeskrivning av arbetet med att avhjälpa sådana föroreningsskador som avses i 10 kapitlet miljöbalken (bilaga 2 Prioriterade och akuta objekt i landet 2011).

PEGASUS-projektet – förekomst och transport av bekämpningsmedel i mark och grundvatten i ett litet avrinningsområde i södra Skåne

Christel Carlsson¹, Maria Åkesson², David Bendz¹, Charlotte Sparrenbom², Anja Enell¹ & Jenny Kreuger³

¹ Statens geotekniska institut, Adelgatan 19, 211 22 Malmö

² Lunds universitet, Geologiska institutionen, Sölvegatan 12, 223 62 Lund

³ Institutionen för vatten och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet, Box 7050, 750 07 Uppsala

Bakgrund

Bekämpningsmedel används idag inom jordbruket i stor skala och anses allmänt vara nödvändiga i vårt moderna odlings-system eftersom de bidrar till en stabil och kostnadseffektiv tillgång på livsmedel (Jordbruksverket 2012). Samtidigt finns det risk för spridning av bekämpningsmedlen till våra grundvatten. I dagsläget finns det en hel del studier gjorda om förekomst och nedbrytning av bekämpningsmedel i ytvatten och i de översta kultiverade jordlagren, medan studier om förekomst och transport av bekämpningsmedel ner till djupare grundvatten är sällsynta.

Målsättning

Målet med studien har varit att undersöka förekomst, transport och nedbrytning av bekämpningsmedel i lite djupare (>10 m) grundvatten i ett mindre avrinningsområde i södra Skåne. Den förväntade nyttan med projektet var att generera ett underlag som kan användas för att bättre identifiera och uppskatta eventuella risker som dagens bekämpningsmedelsanvändning kan utgöra för framtida dricksvattenresurser och för miljön.

Fältlokalen

Studieområdet ligger i södra Skåne, vilket är en av Sveriges mest odlingsintensiva regioner som står för en mycket stor del av användningen av bekämpningsmedel i landet. På grund av de bekämpningsintensiva grödor som odlas i området är också den genomsnittliga dosen per hektar hög. Avrinningsområdet valdes som fältlokal för denna studie eftersom användningen i området av bekämpningsmedel är väl dokumenterad genom det nationella övervakningsprogrammet för växtskyddsmedel som drivs av Kompetenscentrum för kemiska bekämpningsmedel (CKB) vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). Även förekomst i ytvatten finns dokumenterad sedan 20 år tillbaka och i grunt grundvatten sedan 10 år tillbaka.

Genomförande och resultat

Projektet är indelat i fyra delstudier som kommer att presenteras översiktligt:

- 1) Kartläggning av förekomst av bekämpningsmedel i lite djupare grundvatten i avrinningsområdet.
- 2) Hydrogeologisk konceptuell modell av avrinningsområdet.
- 3) Undersökning av styrande faktorer för förekomst av bekämpningsmedel i grundvatten.

- 4) Transportmodellering av bekämpningsmedel i grundvatten.

Fördjupningar av delstudie 3 och 4 presenteras separat som postrar under grundvattendagarna.

Delstudie 1

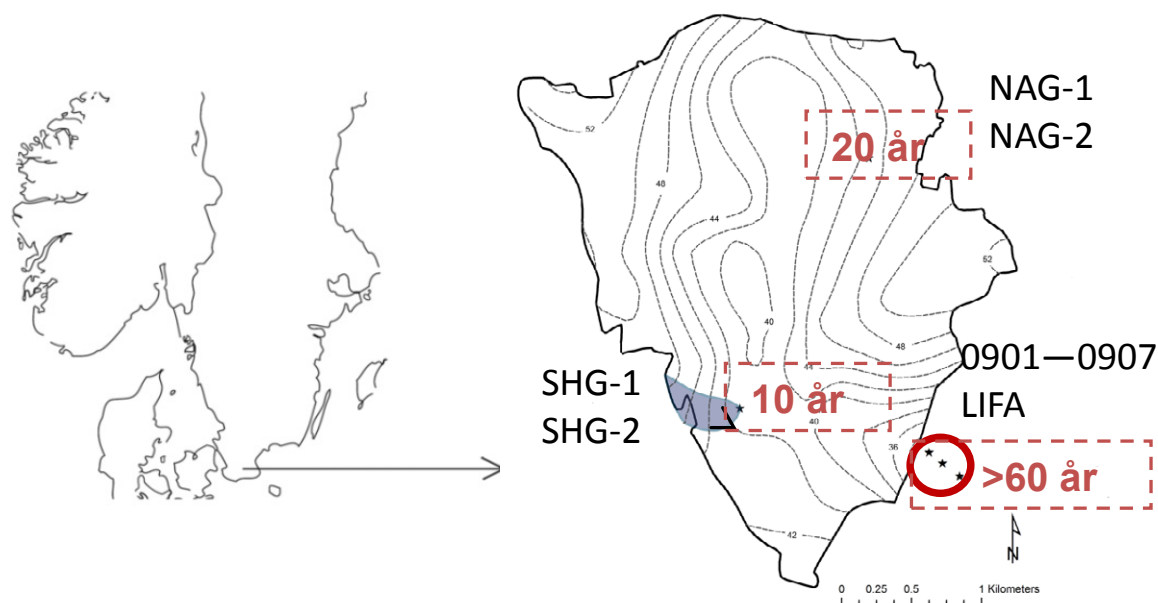
Inom ramen för studien har en transekt av grundvattenrör etablerats i avrinningsområdet och grundvatten provtagits på varierande djup (5,5–35 m). Grundvattnet har analyserats med avseende på 150 olika bekämpningsmedel (framför allt växtskyddsmedel) vid fem olika tillfällen utan att några detekterats (undantaget ett enstaka fynd av AMPA). Grundvatten i brunnarna daterades med CFC-metoden till mellan 40 och mer än 60 år (fig. 1).

Delstudie 2

För att kunna beskriva transporten av bekämpningsmedel i avrinningsområdet togs en konceptuell hydrogeologisk modell fram över området som baserades på grundvattennivåmätning, kartläggning av grundvattendelare, lagerföljdsbeskrivning med interpolering och tolkning av horisontell utbredning, kornstorleksanalys, beräkning och test av hydraulisk konduktivitet samt uppdelning och avgränsning i akviferer (Andersson 2010). Även geofysiska mätmetoder (resistivitet, inducerad polarisation (IP) och elektromagnetism (EM)) användes för att konstruera de konceptuella hydrogeologiska modellerna.

Delstudie 3

I ytligare grundvatten från området finns fynd av bekämpningsmedel och med hjälp av statistisk analys av besprutningsdata och data över fynd undersöktes betydelsen av 17 olika faktorer (kemiska egenskaper hos bekämpningsmedlet, geologiska faktorer, dosering och spridningssätt m.m.) för förekomst av bekämpningsmedel i dessa ytligare grundvatten. Resultatet från denna delstudie visade att den enskilt största faktorn som avgör om ett bekämpningsmedel återfinns i grundvattnet eller ej är dosen vid besprutningstillfället. En högre dos ökar sannolikheten för fynd i grundvattnet. Även bekämpningsmedlens fördelningskoefficient mellan oktanol och vatten ($\log P_{ow}$), halveringstid (DT_{50}) och Henrys lag konstant (HLC), hade betydelse för om bekämpningsmedel detekterades i grundvatten eller ej. Generellt gäller att de bekämpningsmedel som inte detekteras i grundvattnet har högre hydrofobicitet, snabbare halverings-



Figur 1. Kartbild över det undersökta avrinningsområdet med markering av de brunnar som använts i studien. Transekten med brunnarna som etablerades för provtagning av djupare grundvatten är inringade i bilden. Övriga brunnar (SHG samt NAG) har etablerats sedan tidigare av SLU. Vattnet i samtliga brunnar har ålderdaterats och genomsnittsåldern anges i figuren. Den grå arean visar det lokala tillrinningsområdet som undersöktes i de två delstudierna 3 och 4.

tid och är mer flyktiga än de som detekteras (Åkesson m.fl. 2013a, Delstudie 3).

Delstudie 4

En matematisk modellering har genomförts för att förklara förekomst av sex olika bekämpningsmedel i ytligare grundvatten. För modelleringen användes HYDRUS 2D (Simunek m.fl. 1999) som är en tvådimensionell matematisk modell. HYDRUS parameteriserades baserat på den konceptuella hydrogeologiska modellen, hydrologiska data (regn och avdunstning) från SMHI, spridningsdata och experimentellt bestämda parametrar för nedbrytning och sorption. Modellen kalibrerades genom modellering av transport och nedbrytning av tritium och jämförelse med uppmätta halter i grundvattnet. Modelleringen möjliggjorde att fynd av lågsorberande bekämpningsmedel kunde kopplas till spridningen av dessa substanser, medan fynd av de relativt starkt sorberande substanserna inte kunde förklaras (Åkesson m.fl. 2013b). En prediktion av transporten av isoproturon och bentazon till lite djupare grundvatten (15–19 m) gjordes med hjälp av den kalibrerade modellen. Modelleringen visade att det är endast bentazon som i ett hundraårsperspektiv kan detekteras på djupet 15–19 m (Delstudie 4).

Tack

Projektet har finansierats av Stiftelsen för Lantbruksforskning (SLF), Region Skånes Miljövårdsfond, Stiftelsen CF Lundström, Kungliga fysiografiska sällskapet, Lunds universitet (LU) och Statens geotekniska institut (SGI).

Referenser

- Andersson, P., 2010: Hydrogeological investigation for the PEGASUS project, southern Skåne, Sweden, Master thesis (2010). <<http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=2296639&fileId=2296640>>.
- Jordbruksverket, 2012: *Nationell handlingsplan för hållbar användning av växtskyddsmedel*. <<http://www.jordbruksverket.se/download/18.19068c1b13a1ff15f7080001523/1349702200745/F%C3%B6rslag+till+nationell+handlingsplan+f%C3%B6r+h%C3%A5llbar+anv%C3%A4ndning+av+v%C3%A4xtskyddsmedel.pdf>>.
- Simunek, J., Sejna, M. & Van Genuchten, M.T., 1999: *The Hydrus-2D software package for simulating two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media*. Version 2.0, IGCW – TPS – 53. International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 251 pp.
- Åkesson, M., Sparrenbom, C.J., Carlsson, C. & Kreuger, J., 2013a: Statistical screening for descriptive parameters for pesticide occurrence in a shallow groundwater catchment, *Journal of Hydrology* 477, 165–174. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169412010049>>.
- Åkesson, M., Bendz, D., Carlsson, C. & Sparrenbom, C.J., 2013b: Pesticide occurrence and groundwater age in a small catchment in southern Sweden. *In review to Applied Geochemistry*.

ERT and image analysis for estimating water and solute transport across the capillary fringe

Torleif Dahlin¹, Magnus Persson², Pontus Pojmark², Benedict Rumpf¹ & Thomas Günter³

¹Engineering Geology, Lund University, Box 118, S-211 00 Lund, Sweden

²Water Resources Engineering, Lund University, Box 118, S-211 00 Lund, Sweden

³LIAG, Geozentrum, Stilleweg 2, 30655 Hannover, Germany

A series of laboratory experiments were made in order to describe the lateral movement and spatial variability of an infiltrated dye tracer across the capillary fringe of homogeneous sand in an aquarium (Pojmark et al. 2011).

A combination of image analysis and resistivity (ERT) monitoring was used to track the flow paths of the dye with different hydraulic gradients and infiltration rates. The infiltration of the dye tracer Brilliant Blue FCF was regulated by a pump and injected through a pipe system on top of the sand. A simulated groundwater flow with adjustable hydraulic gradient was used to vary flow velocities.

Photographs taken at regular time intervals were used for the image analysis to visualise the flow paths on one side of

the aquarium. The tracer distribution throughout the experiments was presented in relation to the soil water regime within the aquarium.

An ABEM Terrameter LS was used to measure the ERT data. Measurements were taken along and between 5 electrode layouts each on top of and in the bottom of the sand. Inversion with BERT was used to obtain three dimensional models of the resistivity distribution in the aquarium. The results were evaluated with respect to temporal change and correlation with the results of the image analysis.

The inverted models gave a clear impression of the dye tracer distribution and movement within the whole aquarium. The combination of resistivity data and image analysis gave detailed data with high temporal and spatial resolution.

All experiments revealed a high horizontal movement across the capillary fringe. The dye moved vertically through the unsaturated zone, but moved laterally within the capillary fringe without intersecting the saturated zone. In fact, the flow characteristics of the capillary fringe turned out to be more similar to the characteristics of the saturated zone than to the characteristics of the unsaturated zone. If the result of this laboratory study is applicable under field conditions, it clearly shows that taking measurements and samples only in the saturated zone at contaminated sites can underestimate the actual extent of the contamination plume or even miss it completely.

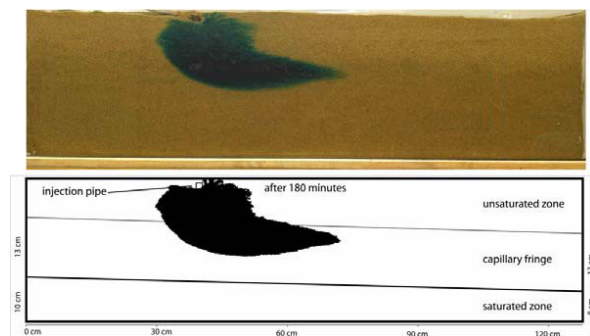


Figure 1. Image analysis result example with explanation.

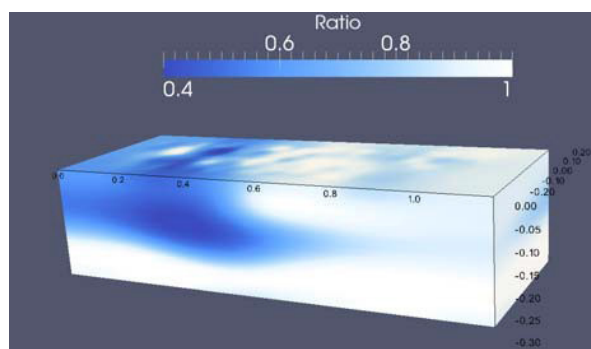


Figure 2. Example of 3D ERT result showing change in resistivity

Acknowledgements

The study was funded by a research grant from the Geological Survey of Sweden (grant 60-1658/2009).

References

Pojmark, P., Rumpf, B., Dahlin, T., Persson, M. & Günter, T., 2011: Resistivity imaging and image analysis for estimating water and solute transport across the capillary fringe in laboratory experiments. *Vatten, Journal of Water Management and Research*, 193–198.

Växtskyddsmedel i yt- och grundvatten, ser man en koppling?

Peter Dahlqvist^{1*}, Pardis Pirzadeh², Karin Sjöstrand², Henric Thulin Olander¹, Mattias Gustafsson¹ & Hillevi Virgin²

¹Sveriges geologiska undersökning, Kiliansgatan 10, 223 50 Lund. *peter.dahlqvist@sgu.se

²Länsstyrelsen i Skåne län, Kungsgatan 13, 205 15 Malmö

I en tidigare studie publicerad av länsstyrelsen 2011 uppgavs tio skånska ytvattendrag halter av växtskyddsmedel vid 95 procent av provtagningstillfällena. Sveriges geologiska undersökning och Länsstyrelsen i Skåne län har under 2013 påbörjat en uppföljning av arbetet där sambandet mellan förekomst av växtskyddsmedel i anslutande yt- och grundvatten studeras. SGUs undersökning av grundvatten längs tre utvalda ytvattendrag visar på halter av växtskyddsmedel i närbelägna akviferer.

Tre utvalda skånska vattendrag: Görslövsån, Löddeå-Kävlingeån och Tuvebäcken-Kabusaån, har under 2013 studerats och provtagits med avseende på 32 substanser förekommande i växtskyddsmedel. Provtagning har skett av ytvatten samt av grundvatten i anslutande ytliga akviferer. Provtagningen av grundvatten utfördes i 4–7 m djupa grundvattenrör, placerade mellan 5 och 300 m från vattendragen i växlande jordarter.

Resultaten i den fortlöpande studien tyder på att växtskyddsmedel är mindre frekvent förekommande i grund-

vatten jämfört med ytvatten. För de flesta substanser saknas gränsvärden för dricksvatten, men indikationer finns att de uppmätta halterna kan anses låga. Substanser av växtskyddsmedel har uppmätts i grundvatten längs samtliga övervakade vattendrag. De substanser som uppmätts i halter över detektionsgränsen i grundvatten är bentazon, diklorprop, isoproturon, klorpyralid, kloridazon, kvinmerak och MCPA.

Studien har gett en vidgad kunskap om utbytet av vatten mellan grundvatten och ytvatten. Arbeta som kvarstår är att fortsätta tolka resultaten för att vidare studera sambandet mellan förekomsten av växtskyddsmedel i ytvatten och grundvatten.

Referens

Länsstyrelsen i Skåne län, 2011: *Bekämpningsmedel i skånska vattendrag – regional miljöövervakning 2010*.

Groundwater supply in coastal terrains: development of new methodologies

Robert Earon & Bo Olofsson

Department of Land and Water Resources, KTH Royal Institute of Technology, 100 44 Stockholm

Problem definition

Water is our most important resource, and the supply of good-quality drinking water is the cornerstone of a sustainable society. Typical aquifers such as glaciofluvial deposits are rarely found in Sweden, which often limits available groundwater resources to those found in crystalline rock fracture networks and small, local pockets of glacial till. Heterogeneity in the fracture system makes hydrogeological assessment based on point estimates difficult at best (Surrette et al. 2008). Lack of recharge during summer months (Sundén et al. 2010) and increased residency in coastal areas increases the risk for aquifer salinisation (sea or fossil) and over-extraction. Traditional methods of assessing hard rock porosity and water balances are ill-suited or costly in such scenarios. Thus, it is essential to develop new methods for assessing aquifer characteristics and water balances in crystalline rock terrains.

Multivariate approaches, kinematic porosity and groundwater balance

Groundwater resource potential (GRP) using a multivariate approach

Principal component analysis and ANOVA were used to develop a methodology which characterises local specific capacity behaviours. The methodology uses a combination of physical and geological factors to produce a GRP score in a GIS environment. Calibration and testing were performed using random selections from the SGU well archive. Results (Fig. 1) were shown to correlate significantly with specific capacity values. Differences in classed ANOVA values were shown to be statistically significant. The method identified wells with a lower than median specific capacity in roughly 80% of all cases.

Kinematic porosity in hard rock terrains

A method for estimating kinematic porosity (n_k) of the in situ rock was developed based on local fracture characteristics using a variant of the method presented by Carlsson & Olsson (1993). Estimates of n_k were within the range of literature values for hard rock (Singhal & Gupta 1999) and correlated with SGU well archive data at statistically significant levels. Spatial statistics were used to demonstrate very low autocorrelation behaviour.

Groundwater balance in hardrock terrains

A new method was developed for carrying out groundwater balance calculations in areas with limited regolith using elevation, land use and geological data to estimate spatially sensitive abstraction and local storage volumes. Based on

surficial soil types, geological strata were assigned based on what is commonly found in postglacial terrains. Modelled soil depth was created using an approach demonstrated in Karlsson et al. (2013).

Acknowledgements

Funding for this project was received from the Geological Survey of Sweden.

References

- Carlsson, A. & Olsson, T., 1993: The analysis of fractures, stress and water flow for rock engineering projects. In J. Hudson (ed.): *Comprehensive rock engineering: principles, practice and projects, Vol. 2: analysis and design methods*. Oxford: Pergamon Press.
- Karlsson, C.S.J., Ali Jamali, A., Earon, R., Olofsson, B. & Mörtberg, M., 2013: Modelling regolith thickness in GIS using terrain features. *Under review in Geoderma*.
- Singhal, B. & Gupta, R., 1999: *Applied hydrogeology of fractured rocks*. Kluwer Academic Publishers, London.
- Sundén, G., Maxe, L. & Dahné, J., 2010: Grundvattennivåer och vattenförsörjning vid ett förändrat klimat. *Sveriges geologiska undersökning Rapport 2010:12*.
- Surrette, M., Allen, D.M. & Journeay, M., 2008: Regional evaluation of hydraulic properties in variably fractured rock using a hydrostructural domain approach. *Hydrogeology Journal* 16, 11–30.

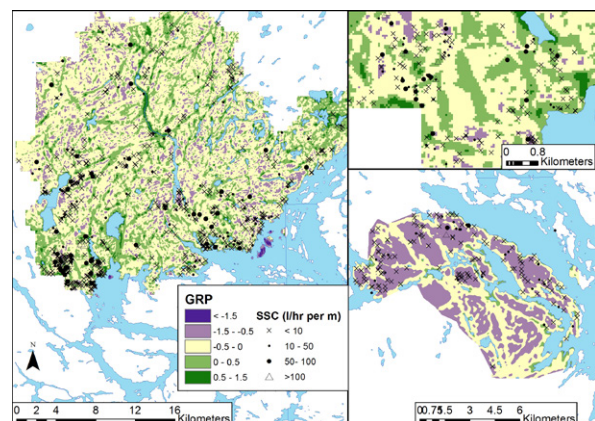


Figure 1. Groundwater resources potential mapping using multivariate methods.

Kalkkällornas betydelse för vattenförsörjningen i Sverige

Anders Eriksson

Akademien för de friska källorna (Källakademin), c/o Artillerigatan 91, 115 30 Stockholm

Kalkkällor har sedan lång tid tillbaka utnyttjats för att förse alla typer av bebyggelse i Sverige med gott dricksvatten. Som regel anlades före elektrifieringen s.k. självfallssystem från källan eller från källorna. Elektrifieringen av landet medförde dock en successiv övergång till pumpning från grundvattenbrunnar vid distributionen. I anförandet belyses också vilka delar av dessa källvattensystem som finns kvar i dag.

Tidigare forskning om källvattenledningar

Någon samlad redovisning i form av t.ex. en avhandling eller bok som redovisar en inventering av källvattenledningar i Sverige och som beskriver deras betydelse för tätorternas vattenförsörjning har inte påträffats. Ett värdefullt bidrag till vattenförsörjningshistoriken finns dock i boken "I vatumannens tecken" av Erik Isgård.

I ett flertal fall vet man dock när en viss källvattenledning med självfall invigdes. Senare har anläggningarna ofta moderniserats i olika steg genom t.ex. förbättring av källinfattning, installation av eldrivna pumpar, utbyte av träledningar till gjutjärn och senare till ställedningar. En källvattenledning som genomgått denna utveckling är den 1856 idrifttagna dåvarande träledningen från Råda källa till Lidköping. Nu används källvattnet (gundvattnet från Råda ås) för att förbättra temperatur och kvalitet på det distribuerade renade Vänervattnet. En inblandning av ca 10 % grundvatten sker idag. Rådaås fungerar även som reservvattentäkt om något utsläpp skulle ske i Vänern.

Källor i gången tid

Källor har haft stor betydelse för vattenförsörjningen i Sverige dels genom de källor som i forna tider försåg människor och djur med dricksvatten, dels de källor som vägledde de ingenjörer och geologer som utfört grundvattenutredningar för städer och samhällen. En bred information om källor och deras betydelse finner man i den av Källakademin sammanställda boken "Källor i Sverige". Den finns nu i en andra utgåva 2012.

Vattenförsörjningsplaner i form av länsutredningar för VA-utbyggnad utfördes för samlad bebyggelse för alla län i Sverige på 1940-talet. Förutom vattenprovtagning i vattendrag och brunnar togs prover i de källor man ansåg var av intresse för bedömning av vattenkvaliteten och möjligheten att anlägga vattentäkter. Dessa planer kom att ligga till grund för VA-utbyggnaden i landet. Tidigare hade bebyggelsen utanför städerna huvudsakligen baserat sin vattenförsörjning på enskilda grävda brunnar och på vattenhämtning i kalkkällor nära bebyggelsen.

Den första bebyggelsens vattenförsörjning

I ett tidigt skede av Sveriges historia lokaliserades bebyggelse till platser med källor. Det var i forntiden naturligt att samlas

där man hade god tillgång på dricksvatten. Tingsplatser, offerplatser och marknadsplatser är ställen där man vid sammankomster även måste ha tillgång på vatten för människor och djur. Många kyrkor kom senare att byggas invid gamla offerkällor. Stora Tuna kyrka vid Frostbrunnsdalen ligger vid ett av vårt lands största källområden. Vid marknadsplatsen Värnamo fanns Luddö källa intill Lagan. Källan var Värnamos vattentäkt till 1930-talet då källan blev otillräcklig. Efter undersökning av vattenkvalitet och kapacitet flyttade man till eller kompletterades uttaget vid Luddö källa med den s.k. Åkällan vid Oxtorget i norra stadsdelen där ett pumpverk anlades 1934. Senare har vattenuttaget flyttats till brunnar vid Lyseveka öster om Lagan där Värnamo nu har sin vattentäkt.

Samhällenas källvattenledningar

Innan el- och ångdrivna pumpar fanns fick man försöka utnyttja självfall för vattnets ledning till tätorter. Man sökte då finna en inte alltför avlägset belägen källa på tillräcklig höjd över tätorten för byggande av en självfallsledning till tätorten. Ibland samlades vatten från flera intilliggande källor till en samlingsbrunn från vilken självfallsledning utgick. För att klara av den varierande förbrukningen byggde man som regel även någon form av vattenreservoar där det konstant rinnande källvattnet fick samlas. Detta för att möjliggöra större avtappningar än källvattenflödet. Fram till slutet av 1800-talet användes vanligen urborrade trästockar som vattenledning. Under torrår minskade flödet i källorna och man fick då ransonera källvattnet. Detta var möjligt genom att man hade ett fåtal tappställen där man fick hämta vatten. I början av 1900-talet räknade man med att 1 l/s räckte till 1 000 personer. 1 l/s ger 86 400 l/dygn. Hade man tillräcklig reservoarvolum och inga läckor fanns således ca 86 liter vatten per person.

Där lämplig kalkkälla inte kunde påträffas kring ett samhälle sökte man en sjö eller bäck med tillräckligt god vattenkvalitet och som kunde ledas med självfall till tätorten. I Jönköping byggdes en damm vid Junebäck varifrån vatten leddes till staden. Ytvattnet hade dock som regel sämre kvalitet och varierande temperatur under året.

Orter som haft en god källa eller goda källor "mitt i stan" är t.ex. Skara och Helsingborg. Man kan också tänka sig att dessa orter vuxit upp kring källan (vattentillgången).

Skara källa, som försörjde Skara i flera 100 år med dricksvatten, flödade till 1899. Den sinade detta år eftersom man då började ta vatten ur brunnar till den kommunala vattenledningen. Brunnarna gick ner i gruslager i den s.k. Skarabergsåsen. Den gamla källinfattningen av kalkstenshällar vid Skara källa finns dock kvar som ett minne av Skaras tidigare vattenförsörjning.

Vissa större orter och städer hade med början i Uppsala under 1600-talet ordnad vattenförsörjning. Ett annat exem-

pel är Kallebäckskällan i Göteborg. Anläggningen där togs i drift 1787. Under 1880-talet byttes alla trärör i den då dubbla träledningen till staden ut mot gjutjärnsrör. 1871 färdigställdes vid Stora Delsjön en dammbyggnad för förstärkning av vattenförsörjningen med ytvatten. Genom Delsjöarnas höga läge kunde vattnet även ledas med självfall från dessa till Göteborg. Källvattnet från Kallebäck har använts fram till 2000-talet bl.a. för öltillverkning. I dag utgör de tidigare bryggeribrunnarna vid Kallebäck nödvatten i Göteborg Vattens distributionsnät. Forfarande finns källvattenledningar med självfall i drift. Dessa finns huvudsakligen i Norrland där topografin gynnar självfallsledningar.

Samhällen utan lämpliga kalkkällor

I vissa städer fanns hämtställen vid sjö- eller älvstrand eller vid av staden skötta större schaktbrunnar. Det var fallet i de städer där någon käll- eller sjövattnenledning med självfall inte gick att anordna som t.ex. i Stockholm. Först 1861 fick Stockholm kommunal vattenledning. Vattnet togs från Årstaviken vid Skanstull. Hammarby sjö som då låg högre än Årstaviken (Mälaren) var reservvattentäkt. Man hade även grundvattenbrunnar i grusåsen längs stranden av Årstaviken.

Man kunde dock i städer som hade ytvattentäkter köpa dricksvatten som kördes ut i tunnor av privatpersoner från källor i omgivningen. Så skedde i Mariestad. Även Kallebäcksborna sålde källvatten till Göteborgarna både före och efter vattenledningens idrifttagning 1787. Även importerades källvatten i lerkrus från kontinenten. Man drack även mycket öl som bereddes av grundvatten från bryggeriernas brunnar.

Källplatsernas betydelse idag för vattenförsörjningen

Vid de flesta större källplatserna invid tätorter har under 1900-talet byggts kommunala vattentäkter. Dessa vattentäkter har försörjt kommuner vilka nu ofta ingår som medlemmar i något förbund som Sydsvenska vatten, Stockholm vatten, Norrvatten, Göteborg vatten m.fl. Dessa förbund har som regel en ytvattentäkt som enda tillräcklig vattentäkt för normalförbrukning. I bland finns intag på olika djup som kan parera förorenande utsläpp men sällan finns en alternativ täkt. Sammankoppling av ledningar hörande till olika förbund kan dock klara en krissituation. En sådan hopkoppling har skett mellan Norrvattens och Stockholm Vattens nät. Eftersom dessa förbund har långa ledningar har tidigare kommunala vattentäkter i flera fall behållits som reservvattentäkter. Norrvatten har fyra tidigare kommunala vattentäkter i Stockholmsåsen som reservvattentäkter. För att snabbt kunna ta en reservvattentäkt i drift vid ledningsbrott eller utebliven leverans från ytvattenverket krävs dock hög beredskap. Denna beredskap saknas i många förbund.

Källor hade fram till ca 1880-talet betydelse för ett flertal tätorters dricksvattenförsörjning vilket kommer att redovisas.

Karlskrona hade under lång tid svårighet med sin vattenförsörjning. År 1680 anlades örlogsstationen i Karlskrona. Under nästan 200 år såldes vatten från Lyckeby källa. Man transporterade vatten med båt från Lyckeby källa. 1861–1864 byggdes en vattenledning mellan Lyckeby och Karlskrona. Ett vattenverk anlades vid Lyckebyån och vattnet renades i

långsamfilter. Utredningar pågår dock för att i framtiden ta vatten från Johannishusåsen till Karlskrona.

Bollnäs fick tidigare vatten från Ljusnan men får nu vatten från Flästa källor i Ljusnanåsen ca 1 mil uppströms Bollnäs. De källor som används för kommunal vattenförsörjning är numera som regel utbyggda med brunnar eller inbyggda och försedda med tak. Öppna, ej inbyggda källor finner man i skog och mark. De kan vara utmärkta med olika typer av skyltar t.ex. längs vandringsleder och längs vägar i Norrland. Detta för att vandrande och resande ska kunna dricka och hämta vatten.

Annan användning av källvatten än för dricksvattenändamål

Källvattens låga och jämna temperatur har även utnyttjats för andra ändamål. Innan moderna kylrum fanns utnyttjade man källor och brunnar för kylning av mjölk och andra livsmedel. Nästan varje gård och fåbod kylde mjölken på detta sätt.

För odling av ädelfisk utnyttjats källvatten. Vid Källefall i Tidaholm har funnits en stor fiskodling sedan början av 1900-talet. Där utnyttjar man det kalla källvattnet från grusavlagringarna på Hökensås.

Vid Mora finns eller fanns i Färnäs en fiskodling som får sitt vatten från två källor och från vilka det går självfallsledning(-ar) till fiskdamarna.

En användning som källor tidigare hade var fyllandet av kvarndammar. Genom att källvattnet ständigt rinner med ett ganska konstant flöde kunde kvarndammar fyllas under natten när kvarnen stod still och även under torrperioder när ytvattnet sinat. Vid Ingbo källor i norra Uppland utnyttjades källvattnet för kvarndrift redan på 1300-talet. På 1800-talet drevs både kvarn och såg av källvattnet. Kvarnen har återuppslagts på 2000-talet. Vid Flosta källa i Enköpings kommun finns även en kvarndamm vid källan. 1863 uppmättes av SGU ett flöde på 144 l/s från Flosta källa. Troligen genom "uppslag" av nya källor i den närliggande Örsundaån läcker vatten ut till ån vilket minskat vattenföringen i Flosta källa där flödet idag kan uppskattas till ca 50 l/s. Med tanke på ytvattens varierande vattenföring, temperatur och vattenkvalitet var källvatten att föredra.

I SGUs kartbladsbeskrivningar i Serie Aa finns uppgifter om kalkkällor och mineralkällor och bedömning av flöde och ibland uppgifter om källvattnets användning.

Referenser

- Kungl. Väg- och vattenbyggnadskåren 1851–1901. Minneskrift med anledning av Kårens femtioåriga tillvaro.
Richert, J.G., 1911: *Om Sveriges grundvattenförhållanden*.
Knutsson, G., 1978: Grundvattnets roll för vattenförsörjningen i Sverige. *Ymer, årsbok 1978, även i Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden 10*.
SLV, 1997: *Riskhandbok för dricksvattenförsörjning*. Avsnitt om "Källor och brunnar för vattenförsörjning i krig och kris", s. 130–139.
Isgård, E., 1998: *I vattumännens tecken*.
Källakademien, 2012: *Källor i Sverige*. Sivart förlag.

Transport av nanokoltuber i mark- och grundvatten

Fritjof Fagerlund, Prabhakar Sharma, Abenezer Mekonen & Dixiao Bao

Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Villavägen 16, 752 36 Uppsala

Bakgrund

Användningen av nanopartiklar har ökat i en accelererande takt inom en rad olika områden där nanopartiklars unika materialegenskaper leder till utveckling av ny teknik och konsumentprodukter. Nanokoltuber används bl.a. för energitillämpningar inom solceller, elektricitet från vätgas och batterier; för miljötillämpningar inom vattenrening, och nya kolbaserade material samt för medicinska tillämpningar, och förekommer dessutom i en rad olika konsumentprodukter (t.ex. Tan m.fl. 2012, Mauter & Elimelech 2008). Den ökade produktionen och användningen leder samtidigt till ökad risk för utsläpp av nanopartiklar till miljön. Vidare har toxicitet för både människor och miljö påvisats hos nanokoltuber (t.ex. Monteiro-Riviere m.fl. 2005, Kennedy m.fl. 2008, Scott-Forsmand m.fl. 2008). För att bedöma risker för påverkan på vattenresurser och ekosystem är det nödvändigt att förstå hur olika typer av nanopartiklar transporteras i mark- och grundvatten samt vilka faktorer som styr transporten och partiklarnas mobilitet.

Målsättning

Målsättningen med denna studie var att undersöka vilka faktorer som styr transportegenskaperna hos nanokoltuber under både mättade och omättade förhållanden i sandmaterial. Olika faktorer som påverkar nanopartiklarnas mobilitet och transportegenskaper varierades systematiskt i en serie kolonnförsök. Dessa inkluderade vattnets strömningshastighet, jonstyrka och pH, sandens kornstorlek och vattenhalt samt koltubernas ytbeläggning.

Resultat

Jonstyrka identifierades som en kritisk faktor för mobiliteten hos nanokoltuber då 99 % filtrerades ut vid jonstyrka på 4 mM medan de uppvisade god mobilitet vid lägre jonstyrkor. Remobilisering vid en sänkning av jonstyrkan observerades dock endast i mindre utsträckning vilket tolkades som att filtreringen vid hög jonstyrka till största delen uppkom till följd av deposition i primära energiminima, och till mindre del som deposition i sekundära, svagare energiminima. Även pH, kornstorlek och strömningshastighet påverkade mobiliteten. För mindre kornstorlek och lägre strömningshastighet ökade filtreringen av partiklar genom silning i porhalsar och minskad benägenhet hos partiklarna att hållas i suspension. Under omättade förhållanden krävdes en kombination av

låg vattenhalt och låg strömningshastighet för att signifikant filtrering av kolnanotuber skulle ske, medan partiklarnas mobilitet var god för alla undersökta vattenhalter så länge strömningshastigheten översteg en kritisk nivå. Detta tolkades som att förekomsten av gränsytor mellan porluft och vatten inte hade signifikant betydelse för retention av nanokoltuber. På liknande sätt ökade filtreringen då liten kornstorlek kombinerades med låg strömningshastighet. De flesta försöken utfördes med funktionaliserade nanokoltuber med karboxylgrupper i sin ytbeläggning, vilket ökar partiklarnas hydrofilitet och den vattenburna mobiliteten. Då graden av funktionalisering minskades, minskade även partiklarnas mobilitet.

Slutkommentar

Studien visade att nanokoltuber kan uppvisa goda transportegenskaper i sandiga material, både i den omättade och mättade zonen under vanligt förekommande vattenkemiska förhållanden. Spridningsrisken kan därmed vara betydande i dessa material. Ytterligare undersökningar behövs för att undersöka bl.a. hur redoxförhållanden och förekomst av organiskt material i marken påverkar transportegenskaperna.

Referenser

- Kennedy, A.J., Hull, M.S., Steevens, J.A., Dontsova, K.M., Chappell, M.A., Gunter, J.C. & Weiss Jr, C.A., 2008: Factors influencing the partitioning and toxicity of nanotubes in the aquatic environment. *Environ. Toxicol. Chem.* 27, 1932–1941.
- Mauter, M. & Elimelech, M., 2008: Environmental applications of carbon-based nanomaterials. *Environ. Sci. Technol.* 42, 5843–5859.
- Monteiro-Riviere, N.A., Nemanich, R.J., Inman, A.O., Wang, Y.Y. & Riviere, J.E., 2005: Multi-walled carbon nanotube interactions with human epidermal keratinocytes. *Toxicol. Letters* 155, 377–384.
- Scott-Forsmand, J.J., Krogh, P.H., Schaefer, M. & Johansen, A., 2008: The toxicity testing of double-walled nanotubes-contaminated food to *Eisenia veneta* earthworms. *Ecotoxicol. Environ. Safety* 71, 616–619.
- Tan, C., Tan, K., Ong, Y., Mohamed, A., Zein, S. & Tan, S., 2012: Energy and environmental applications of carbon nanotubes. *Environ. Chem. Lett.* 10, 265–273.

Grundvattenbildning, grundvattenkemi och grundvattenmodellering i sprickigt berg

Sven Follin

Golder Associates AB, Box 20127, 104 60 Stockholm, sfollin@golder.se

I inget annat land i världen har man byggt så många berggrum och tunnlar i hårt, kristallint (sprickigt) berg som i Sverige. Under hela 1900-talet har berggrunden i de större städerna fullkomligt perforerats av bergtunnlar (för järnvägs- och biltrafik, ledningar för el, tele, vatten och avlopp). Härtill finns – spridda över hela landet – mer eller mindre aktiva förvarsanläggningar, kraftverkstunnlar och lagerutrymmen i berg för petroleumprodukter (råolja, eldningsolja, bensin, flaskgas, naturgas m.m.) och livsmedel. I Bergslagen och i Norrlands inland har gruvsdrift pågått i ca 500 år och utgör än idag ryggraden i svensk industri och Sveriges välbefinnande. I alla dessa undermarksprojekt spelar bergets grundvattenföring och grundvattenkvalitet en mycket stor roll. Vattenförsörjningen i gles- och fritidsbebyggelse baseras också allt mer på brunnar borrar i hårt berg. Omfattande forskning om de bergmekaniska, hydrauliska och hydromekaniska förhållandena i hårt berg har också utförts på senare tid i Sverige. Det innebär att det finns såväl teoretisk kunskap om och praktisk geovetenskaplig erfarenhet av Sveriges berggrund och av förutsättningarna för tekniska system under mark (Knutsson &

Morfeldt 1993, Gustafson 2009), även för långtidsförvaring av skadliga ämnen, t.ex. radioaktivt avfall och kemiskt avfall.

Föredraget kommenterar inledningsvis de strukturgeologiska förhållandena i Sveriges kristallina berggrund baserat på Svensk Kärnbränslehanterings (SKB) typområdesundersökningar från Sternö i söder till Kamlunge i norr. Vidare kommenteras några erfarenheter från SKBs platsundersökningar i Forsmarksområdet i Norduppland respektive Laxemarområdet i Östra Småland vad gäller hydrogeologi, grundvattenbildning och grundvattenkemi. Slutligen kommenteras förekommande koncept för att modellera grundvattenströmning och grundvattentransport i hårt berg och vad man bör tänka på för att välja rätt koncept beroende på frågeställningens karaktär och skala.

Referenser

- Gustafson, G., 2009: *Hydrogeologi för bergbyggare*. Formas T2:2009, 167 s.
- Knutsson, G. & Morfeldt, C.-O., 1993: *Grundvatten – teori & tillämpning*. Svensk Byggtjänst, 304 s.

Changes in subsurface water residence times in a permafrost model subject to hydro-climatic change

Andrew Frampton

Department of Physical Geography and Quaternary Geology, Stockholm University, Sweden
Bert Bolin Centre for Climate Research, Stockholm University, Sweden

Previous studies (Frampton et al. 2011, 2012) have demonstrated the importance of including coupled multiphase flow processes with heat transport in order to better understand the dynamics of permafrost formation and degradation and its interactions with subsurface flow. In particular, long-term simulation results show that warming trends reduce the temporal and seasonal variability of groundwater discharge into surface waters. A compelling question for water-borne transport of substances relevant for climate feedbacks, biogeochemical cycling and water pollution is how different scenarios of hydro-climatic change influence permafrost formation and degradation dynamics and through that also the residence times of subsurface water, from the land surface to nearest surface water.

In this contribution, subsurface water residence times are evaluated and their changes analysed under permafrost formation and thaw dynamics due to changing hydro-climatic input scenarios representing warming temperature trends. Residence times, here defined as the ratio of the mobile mass over the average system flow, are studied and compared for a generic sand–silt texture at a hillslope scale (Fig. 1) with realistic boundary conditions representing surface infiltration, geothermal heating and both seasonal and annual temperature variations.

This is done by numerical simulations of flow and heat transport in partially frozen ground using the approach described by Painter (2011), incorporating infiltration and ambient temperature variations, and evaluating the subsurface water seepage and discharge into surface water. The dynamics of permafrost variation (Fig. 2), as active layer freeze and thaw

cycles, as well as longer-term change trends in permafrost formation and degradation, and how this impacts the hydrogeological flow system and its subsurface water residence times and outflow rates to surface water are analysed.

Residence time implications are evaluated and discussed in the context of solute transport and potential climate feedback mechanisms. Initial results indicate non-linear residence time responses to permafrost formation and degradation under changing hydro-climatic forcing, which impacts the distribution of subsurface flow-transport pathways and thereby also the associated residence time.

References

- Frampton, A., Painter, S.L., Lyon, S.W. & Destouni, G., 2011: Non-isothermal, three-phase simulations of near-surface flows in a model permafrost system under seasonal variability and climate change. *Journal of Hydrology* 403, 352–359. DOI:10.1016/j.jhydrol.2011.04.010.
- Frampton, A., Painter, S.L. & Destouni, G., 2012: Permafrost degradation and subsurface-flow changes caused by surface warming trends. *Hydrogeology Journal, Hydrogeology of Cold Regions* 21, 271–280.
- Painter, S.L., 2011: Three-phase numerical model of water migration in partially frozen geological media: Model formulation, validation, and applications. *Computational Geosciences* 15, 69–85. DOI:10.1007/s10596-010-9197-z.

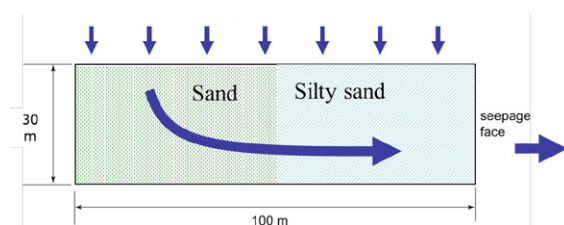


Figure 1. The modelled system, with surface infiltration occurring at the top and outflow along a seepage face on the right. The top surface has an imposed sinusoidal variation in temperature representing seasonal variation. The arrow in the domain depicts the generic flow direction in the absence of ice.

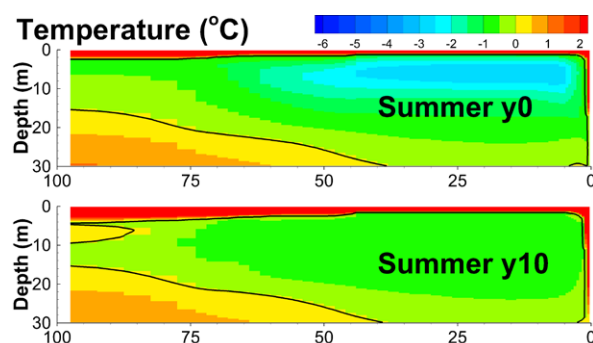


Figure 2. The temperature distribution in the modelled system at the peak of summer prior to warming (year 0) and at the end of the simulation period (year 10).

Betydelsen och effekten av grundvatten och grundvattenflöde för geoenergisystem

Signhild Gehlin¹ & Johan Barth²

¹Svenskt Geoenergicentrum, Box 1127, 221 04 Lund

²Geotec, Box 1127, 221 04 Lund

Geoenergi är ett samlingsbegrepp för flera olika tekniker som nyttjar den passivt inlagrade solenergin i mark och vatten ner till några hundra meters djup under markytan. Värme och kyla som aktivt lagras i undermarken räknas också in i begreppet. Värmen och kylan kan tas till vara med eller utan värmepump.

Enligt en färsk sammanställning presenterad vid European Geothermal Congress 2013 (Antics m.fl. 2013) finns det ca 1,3 miljoner geoenergianläggningar i Europa med en uppskattad total installerad effekt på 17 GW. I Sverige finns över 400 000 anläggningar med en total installerad effekt motsvarande 4,6 GW, och som bidrar med 15,2 TWh till Sveriges energisystem. Det gör Sverige till ohotad europamästare i geoenergi med en tredjedel av alla anläggningar, en dryg fjärdedel av den installerade effekten och nära hälften av all levererad geoenergi i Europa.

Grundvatten som värmekälla

Grundvattensystem är det mest effektiva sättet att utnyttja geoenergi (Geotec 2012). Grundvattnet pumpas ur en eller flera brunnar och återförs sedan till marken efter värmeväxlingen. Ungefär 15 % av Sveriges yta har förutsättningar att nyttja geoenergi från grundvatten, och idag finns uppskattningsvis 10 000 mindre geoenergianläggningar med grundvattensystem, och ett drygt hundratal större geoenergisystem med kyl- och värmelagring i akvifärer (Andersson & Bjelm 2013). I de sistnämnda systemen är temperaturen på den varma sidan typiskt 12–16 °C och på den kalla sidan 4–8 °C. Systemen är mycket effektiva och har ofta en mycket god totalekonomi.

Borrhål och konvektion

Den vanligaste typen av geoenergisystem i Sverige är djupa och värmeväxlarförsedda slutna borrhål, ofta kopplade till en värmepump. Tre fjärdedelar av Sveriges alla geoenergisystem utgörs av slutna brunnar i berg. (Andersson & Bjelm 2013).

Borrhålen är typiskt mellan 100 och 200 m djupa och har en diameter på ca 11 cm. En kollektor, i de allra flesta fall bestående av två plastslangar sammankopplade i en u-böj med en bottenvikt och fyllda med en entanolblandning, är monterad i borrhålet. Eftersom vi har en generellt hög grundvattennivå i Sverige är borrhålen som regel enbart grundvattenfyllda. Det är i den del av borrhålet som ligger under grundvattnet som energiöverföring kan ske. Grundvatten spelar därmed en betydande roll även för geoenergisystem som inte nyttjar grundvatten som direkt värmebärare.

Grundvatten påverkar värmetransporten till och från borrhålskollektorn, huvudsakligen på två sätt: värmetran-

sport genom horisontellt grundvattenflöde i marken runt borrhålet och genom egenkonvektion till följd av temperaturskillnader i det grundvattenfyllda borrhålet.

Det finns flera studier kring grundvattens påverkan på geoenergibrunnar. Ett tidigt arbete gjordes av Chiasson m.fl. (2000) där en FEM-modell av grundvattenflöde och värmetransport utvecklades för att simulera forcerad värme- konvektion i olika geologiska material. Resultaten visade att det bara är under vissa geohydrologiska förhållanden som värmetransporten påverkas, men om dessa förhållanden uppfylls är påverkan betydande.

Tre olika modeller för hur man kan uppskatta grundvattenflödets påverkan på en geoenergibrunn har även jämförts av Gehlin & Hellström (2003). I det ena fallet antogs att berget runt borrhålet motsvarade ett homogent poröst medium genom vilket grundvattnet transporterades. Ett annat fall lät allt grundvatten passera genom en sprickzon nära borrhålet. I det tredje fallet antogs allt berg runt borrhålet vara helt hydrauliskt tätt, men en tunn vertikal spricka parallell med borrhålet transporterade allt grundvatten.

Alla tre fallen visade på olika sätt att även mycket låga grundvattenflöden ökar värmetransporten påtagligt kring borrhålet.

Egenkonvektion i borrhål

Även om ett geoenergiborrhål är borrar genom mark utan horisontellt grundvattenflöde, har grundvattnet betydelse för effektiviteten i värmeöverföringen i borrhålet. I grundvattenfyllda borrhål kommer konvektionsceller inuti borrhålet att uppstå på grund av vertikala temperaturskillnader i borrhålet likväl som temperaturskillnaden mellan uppgående och nedgående kollektorslang.

Konvektionscellerna förbättrar den interna värmeöverföringen i kollektorn och minskar det termiska motståndet. De kan också orsaka oönskad termisk kortslutning mellan kollektorslangarna.

Om det finns sprickor i berget runt borrhålet kan en så kallad termisk hävertteffekt uppstå. Effekten är mest påtaglig vid uttag av kyla ur borrhål, dvs. då grundvattnet i borrhålet är varmare än omgivningen. Eftersom den varma vattenpelaren i borrhålet är lättare än omgivande grundvatten kan sprickor i borrhålsväggen leda till tillströmning av kallare vatten, som när det värms upp i borrhålet skapar ett genomströmmande flöde utmed borrhålet nerifrån och upp.

Denna termiska hävertverkan pågår så länge borrhålet är varmare än omgivande grundvatten och ökar påtagligt värmetransporten till borrhålet.

Termisk responstest

Genom en termisk responstest (TRT) kan man bilda sig en uppfattning om eventuell grundvattenpåverkan på ett borrhål för geoenergi på plats (Gehlin 2002). Vid en TRT värms eller kyls borrhålskollektorn på ett kontrollerat sätt under ca 60–70 timmar och temperaturutvecklingen i borrhålet mäts. Från dessa data beräknas markens effektiva värmeledning utmed hela borrhålsdjupet, vilket ger en sammanvägd bild av värmeledningen i berget och värmeledningsbidraget genom grundvattenpåverkan i och omkring borrhålet (Gehlin 2002, Gustafsson 2010).

Referenser

- Andersson, O. & Bjelm, L., 2013: Geothermal energy use, country update for Sweden. *Proceedings of the European Geothermal Congress 2013, Pisa, Italy*, s. 12
- Antics, M., Bertani, R. & Sanner, B., 2013: Summary of EGC 2013 country update reports on geothermal energy in Europe. *Proceedings of the European Geothermal Congress 2013, Pisa, Italy*, 18 s.
- Chiasson, A., Rees, S.J. & Spitler, J.D., 2000: A preliminary assessment of the effects of groundwater flow on closed-loop ground-source heat pump systems. *ASHRAE Transactions* 106, 380–393.
- Gehlin, S., 2002: Thermal response test – method development and evaluation. *Doktorsavhandling, Luleå tekniska universitet*, 2002:39.
- Gehlin, S. & Hellström, G., 2003: Influence on thermal response test by groundwater flow in vertical fractures in hard rock. *Renewable Energy* 28, 2221–2235.
- Geotec, 2012: Geoenergin i samhället – en viktig del i en hållbar energiförsörjning. *Geotec*. 2012:1, 92 s.
- Gustafsson, A.-M., 2010: *Thermal response tests – influence of convective flow in groundwater filled borehole heat exchanger*. Doktorsavhandling, Luleå tekniska universitet.

Estimation of extreme groundwater levels with a perspective on seasonality and interval lengths

Ezra Haaf

Royal Institute of Technology, 100 44 Stockholm; COWI Sweden AB

Statistical modeling of extreme values

The ability to calculate the probability of extreme groundwater levels is fundamental when estimating the risk of hydraulic bottom heave or landslides. This can be done by fitting historic groundwater level data to probability density functions and extrapolating to certain return levels (Svensson 1984). However, very little research has been done in the field of extreme groundwater level estimation. The design guide (TK-Geo) of the Swedish Transport Administration (Trafikverket) gives a brief description of a method developed in the eighties. It is based on applying well-established hydrological theory to groundwater.

In this study, recent research on hydrologic extreme value analysis (Coles 2001) is applied and used to bring the methods in groundwater up to date. More than 100 long time-series of groundwater data recorded by SGU in the Swedish groundwater network (often used as reference series) are utilised for testing. Established parameter estimation techniques such as Maximum Likelihood Estimation and Probability-Weighted Moments with L-moments are compared and weighed against the traditionally used Method of Moments. Swedish research with focus on this topic usually takes advantage of the simplicity of the Block Maxima Approach, while evading the more complex Peaks over Threshold method. These methods are also applied and discussed as to how their use influences the inferences made.

Traditionally used statistical distributions such as the Normal, Log-normal, Weibull and Gumbel distributions are juxtaposed with the more flexible and presently more popular Generalised Extreme Value distribution and Generalised Pareto distribution.

In order to estimate model adequacy, a number of goodness-of-fit tests are discussed and implemented, such as the Anderson-Darling test, Kolmogorov-Smirnoff test as well as the likelihood ratio test. This results in a general overview of how to compute return levels for high return periods and which models should be preferred.

Inherent seasonality

Fitting probability density distributions requires the data to be independent and identically distributed, a condition, which groundwater levels are generally not in accordance

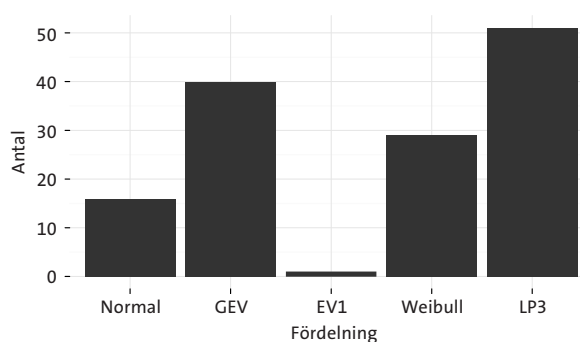


Figure 1. Preferred models according to Anderson-Darling Goodness-of-fit test for different probability density functions. 143 groundwater level series in SGUs groundwater network were fitted and tested. Log-Pearson 3 and Generalised Extreme Value distributions give the best fit most frequently.

with. This is a consequence of the groundwater's inherent seasonality not only within one year, but also over random numbers of years. Using data with seasonality results in underestimation of extremes should be avoided. Examples of identification and recommendations for handling this sort of phenomena are given.

Measurement length

Even though SGU has an extensive network of groundwater wells and corresponding historic records, extreme return levels for wells with a relatively short measurement length are required. The less data available, the higher the uncertainty and the risk of underestimation of extremes. With help of the jackknife method, random combinations of 5, 10, 12, 15 etc. values of groundwater series are generated. These are then fitted to the normal and the generalised extreme value distribution to show the impact of measurement length on return level estimation.

References (selection)

- Svensson, C., 1984: *Analys och användning av grundvattennivåobservationer*. Geologiska Institutionen, CTH.
- Coles, S., 2001: *An introduction to statistical modeling of extreme values*. Springer Series in Statistics, Springer. ISBN 1852334592.

Resistivitetsundersökning (CVES) på Kristianstadsslätten optimerar grundvattenskydd vid motorvägsbygge

Elisabet Hammarlund¹ & Roger Wisén²

¹ Ramböll Sverige AB, Skeppsgatan 5, 211 11 Malmö, Sverige

² Ramböll Danmark A/S, Hannemanns Allé 53, Köpenhamn, Danmark

Bakgrund

Trafikverket planerar en utbyggnad av väg E22 till motorväg i ny sträckning från Sätaröd till Vä i Kristianstads kommun. Sträckan omfattar Linderödsåsens norra sluttning, en del av Kristianstadsslätten samt Helgeåsens isälvsavlagring. Kristianstadsslättens sedimentära berggrund utgör ett stort och betydelsefullt grundvattenmagasin. Regeringen har gett tillstånd för vägen med villkor att behövliga skyddsåtgärder ska utföras för att hindra att grundvattenresursen förorenas av byggverksamheten, vägtrafiken och vid en eventuell olycka.

Utförda undersökningar

Som underlag för beslut om vad som är behövliga skyddsåtgärder har kontinuerlig resistivitetssondring (Continuous vertical electrical sounding, CVES) utförts längs huvuddelen av vägsträckan. Metoden har använts länge och är etablerad för denna typ av undersökningar (se exempelvis Dahlin 1996). De delar som undantogs från CVES är de delar där behovet av grundvattenskydd redan från början var konstaterat. Mätningen omfattade två parallella linjer med 25 m mellanrum längs en sträcka av 11,7 km från foten av Linderödsåsen fram till Helgeåsen. Mätningarna är utförda med 5 m elektrodavstånd och 400 m långa utlägg som flyttas successivt 100 m per mätomgång. Mätningarna styrs av en Terrameter LS från ABEM Instruments AB. Denna mätuppställning har gett ett mättdjup på ca 70 m i den aktuella geologin.

Data har processerats genom 2D-inversmodellering med programmet Res2Dinv. Även 1D-tolkning med Aarhus workbench utfördes som komplement och kvalitetskontroll. Processeringen resulterar i uppritade resistivitetssektioner i en färgskala från blått till lila via grönt, gult och rött. Färgskalan är formad så att den fokuserar på de resistiviteter som är intressanta i det aktuella projektet.

Kompletterande borrhningar har utförts i utvalda punkter ner till maximalt 15 m djup. Vid tolkning av resistivitetssektionerna har dessa och andra geotekniska undersökningar (inklusive kornstorleksanalyser) utnyttjats tillsammans med SGUs jordartskarta, berggrundskarta och brunnsarkiv.

Resultat

Resistiviteten i området varierar från 20 till 1 000 Ωm (Hammarlund 2013, Wisén 2013). Lågst resistivitet, ca 20–100 Ωm , motsvarar lera alternativt lermorän. Sandig morän finns i intervallet 100–300 Ωm . Omättad sand nära markytan ger

ca 300–1 000 Ωm . Berggrunden ligger i intervallet 300–1 000 Ωm för urberg och 120–500 Ωm för kritberggrunden.

Vid kanten av Linderödsåsen är jordjupet litet men nära åsfoten finns en förkastning där jorddjupet plötsligt ökar till mer än 70 m. Jorddjupet inom slättområdet är ca 50 m på en stor del av sträckan men minskar som förväntat mot nord-öst. I området finns ett 20–30 m mäktigt lager av lera eller lermorän som fyller en dalsänka i kritberggrunden. Lagret eller lagren framträder tydligt i resultatet på en sträcka av ca 8 km. Ovanpå det lagret finns leriga till sandiga moräner. I delar av området kan två eller flera olika moräner urskiljas ovanpå varandra i resistivitetssektionerna beroende på variationer i resistivitet. Längst i nordöst finns mera omfattande lager av kritberggrund. Tolkningen i detta område är svårare eftersom det är mindre resistivitetskontrast mellan morän och kalksten samt mellan kalksten och urberg. I detta område planeras kompletterande borrhning för att förbättra tolkningen.

Slutsatser

CVES har använts för att ge en kontinuerlig bild av markförhållandena längs vägsträckan med syfte att bedöma risken för att föroreningar från den planerade vägen ska tränga ner till det värdefulla grundvattenmagasinet på Kristianstadsslätten. Undersökningen visar att det på en stor del av sträckan (ca 8 km) finns täta jordlager i form av ett mäktigt lager av lera–lermorän. I vissa delar av området finns sandig morän på lerig morän, sammanlagt minst 15 m mäktigt, vilket också bedöms ge ett tillräckligt skydd. I Linderödsåsens sluttning finns berg i dagen eller mycket tunt jordlager vilket motiverar vattenskyddsåtgärder. På Helgeåsen och i dess närhet är marken genomsläpplig och den omättade zonen mäktig vilket motiverar vattenskyddsåtgärder även där. På ca 10 % av den undersökta sträckan kommer kompletterande undersökningar krävas för att avgöra i vilken utsträckning det finns behov av tätning som skydd för grundvattnet.

Referenser

- Dahlin, T., 1996: 2D resistivity surveying for environmental and engineering applications, *First Break* 14, 275–283.
- Hammarlund, E., 2013: *PM Tolkning av resistivitetsundersökning, E22 Sätaröd-Vä*. Trafikverket.
- Wisén, R., 2013: *Resistivitetsmätning 2012 Datarapport, E22 Sätaröd-Vä*. Trafikverket.

Grundvattenmodellering vid tunnelbygget genom Hallandsåsen

Jan Hartlén, Magnus Gynnemo & Fredrik Björkman

Trafikverket, Projekt Hallandsås, Vistorpsvägen 96, 269 71 Förslöv

Inledning

Behovet av att förutsäga effekter på grundvattnet vid byggverksamhet har ökat under senare år. Detta beror inte minst på ökat undermarksbyggande såsom tunnlar. Grundvattenmodeller används som ett av flera viktiga verktyg. Resultaten används som underlag vid en miljödomsönskan eller för att hitta områden som är känsliga för en grundvattenförändring, men också för att styra utförandet såsom behov av injektering och vattentät inklädnad av tunnlar.

Bakgrund

Det byggs en dubbelspårig järnvägstunnel genom Hallandsåsen. Tunneldrivningen har slutförts och installationsarbetet och spårbyggnad har påbörjats. Tunneln står färdig för trafik i slutet av 2015. Vid byggandet av tunneln har stort fokus varit mot grundvattenpåverkan då bland annat Natura 2000-områden berörs.

Användning av modellberäkningar

Byggandet av järnvägstunneln genom Hallandsås påbörjades 1993 och inledningsvis utfördes grundvattenmodelleringar med hjälp av verktyget "Modflow" för att avgränsa tunnelprojektets influensområde och klargöra acceptabel mängd bortlett vatten.

Projekt Hallandsås har sedan vid två senare tillfällen sökt ny miljödom för projektet för att öka tillåten mängd inläckande vatten till tunnlar i byggskedet. Programverktyget "MikeShe" har då använts för att beskriva den areella om-

fattningen av effekterna på grundvattnet (fig. 1). Genom att modelleringarna successivt kalibrerades mot ökad kunskap om grundvattenförhållandena har bortledningen kunnat ökas till 150 l/s utom invid Natura 2000-områden där inflödet begränsades till 100 l/s (Trafikverket 2010). Vid modellberäkningarna har, förutom påverkan på grundvattnet i jord och berg, även påverkan på ytvattnet och flödet i bäckar modellerats.

Ytterligare detaljmodelleringar utfördes för att se grundvatteneffekterna vid uttag av en eller flera tvärtunnlar. Vid de sista detaljmodelleringarna, som utfördes med verktyget MIKE GeoModell, undersöktes effekterna på grundvattnet vid utförandet av kompletterande vattentät inklädnad i tidigare uttagna bergtunnlar.

Resultaten låg till grund för beslutet om vattentät inklädnad skulle utföras eller inte baserat på risken att tillåtna inläckagemängder skulle komma att överskridas. Beslutet blev att utföra kompletterande vattentät inklädnad till betydande kostnad.

Nyttan med grundvattenmodelleringar

Resultaten av de utförda grundvattenmodelleringarna vid tunnelbygget genom Hallandsås har utgjort viktiga underlag vid de senaste miljödomförhandlingarna. Modelleringarna har visat sig överensstämma väl mot faktisk uppmätt grundvattenpåverkan.

Vidare har modellen beräknat nivå på tätheten i berget som krävdes för att klara kraven på inläckage. Detta har således styrt injekteringsarbetena i tunnlar.

Modellverktygen kan vidare användas för att utföra känslighetsanalyser.

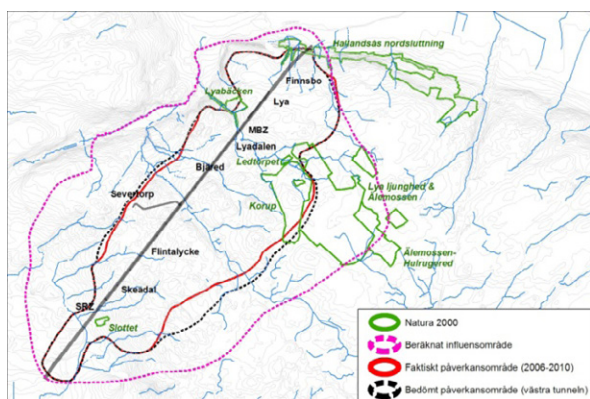
Andra lärdomar

Det är viktigt att fortlöpande göra rimlighetsanalyser av framkomna resultat. Man ska lägga stor möda vid indata som geologi, jorddjup och topografi, och kalibrering ska göras mot provpumpningarna m.m.

Resultaten ska endast vara en del av bedömningsunderlaget för beslut och man ska undvika att övertolka beräkningsresultaten.

Referens

Trafikverket, 2010: *Ansökan om tillstånd enligt miljöbalken. Miljökonsekvensbeskrivning, Projekt Hallandsås*. Trafikverket.



Figur 1. Jämförelse mellan beräknat influensområde, faktiskt påverkansområde östra tunneln och bedömd påverkan för västra tunneln vid ett inläckage av 150 l/s.

Bevattningsuttag av grundvatten – prövning i mark- och miljödomstolen

Catharina Hederström

Tekniskt råd, Mark- och miljödomstolen i Växjö

Bevattningsuttag för jordbruksbevattning omfattas av tillståndsplikt enligt miljöbalkens 11 kap. och tillstånd söks hos mark- och miljödomstolen. De senaste åren har ett stort antal ansökningar om bevattningsuttag av grundvatten inkommit till domstolen. Genom att tillstånd söks och lämnas kan tillsynsmyndigheterna utföra tillsyn och får bättre kontroll på hur mycket av grundvattenakvifären som nyttjas. En tillståndsansökan för bevattningsuttag ska innehålla ritningar och tekniska beskrivningar med uppgifter om förhållandena på platsen, berörda fastigheter, miljökonsekvensbeskrivning, ändamålet och behovet (enskilt eller allmänt intresse) samt fördelarna i förhållandet till kostnader, skada och olägenhet.

Ett vanligt problem vid granskning av en ansökan är bedömning av det tekniska underlagets kvalitet. Hur har beräkningar gjorts? Vilket underlag har använts? Behövs mer underlag eller utredningar? Sammanställningarna och beräkningssätten från konsulterna är mycket olika. Vilken beräkningsmetod för grundvattenbildningen ska användas? Hur stora felmarginaler på beräkningarna ska tillämpas? Hur mycket av uppskattad årlig påfyllnad av grundvattenakvifären får utnyttjas? Hur tillgodoser man att verksamheten inte äventyrar andra framtida behov?

Eftersom förutsättningarna för grundvattenbildning och grundvattenuttag är platsspecifika kan inga generella regler för beräkning gälla. Det finns områden i Sverige där den årliga grundvattenbildningen i jord uppgår till över 600 mm medan andra områden inte har större påfyllning än knappa

150 mm (Rodhe m.fl. 2006). Grundvattenpåfyllningen till berg utgör endast en bråkdel av mängden grundvattenbildning i jord och är betydligt svårare att beräkna. Avgränsningen av infiltrationsområdet skiljer sig också mycket då vissa konsulter intecknar ett horisontellt flöde med utgångspunkt från tryckskillnad och läckagekoefficient medan andra räknar strikt på ett vertikalt flöde utifrån avgränsade vattendelare. Två olika beräkningssätt, för samma område, ger betydande skillnad i uppskattad grundvattenbildning. När domstolen ska lämna ett tillstånd till vattenuttag och samtidigt säkra att tillståndet inte äventyrar andra framtida vattenbehov eller ger upphov till skada på människors hälsa eller miljön, måste redovisat underlag ge förutsättning för en sådan bedömning.

Mark- och miljödomstolen vill lämna en uppmaning till både verksamhetsutövare och konsulter, som sammanställer utredningar inför tillståndsansökningar, att vi alla omfattas av lagkravet (11 kap. § 7 miljöbalken) att ”ett tillstånd inte får försvåra annan verksamhet som i framtiden kan antas beröra samma vattentillgång”. Vi har alla ett gemensamt ansvar för att bedömningarna och tillstånden blir adekvata.

Referens

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

Utredning kring en trygg dricksvattenförsörjning

Gunnar Holmgren

Regeringskansliet, Rosenbad 4, 103 33 Stockholm

En särskild utredare ska gå igenom dricksvattenområdet, från råvatten till tappkran för allmänt dricksvatten. Syftet med utredningen är att identifiera nuvarande och potentiella utmaningar för en säker dricksvattenförsörjning i landet, på kort och på lång sikt, och i förekommande fall föreslå lämpliga åtgärder. Utgångspunkten ska vara klimatförändringarnas förväntade effekter på dricksvattenförsörjningen och hur risker med bland annat kemiska ämnen och skydd för dricksvattenförsörjningen och råvattentäkter på ett riskbaserat och systematiskt sätt ska kunna hanteras. Utredaren ska lämna en uppdaterad beskrivning av hur klimatförändringarna kan komma att påverka olika delar av landet och analysera det förebyggande arbete som bedrivs till exempel i form av anpassningar till kommande klimatförändringar, organisa-

tionen och styrningen av de verksamheter som gemensamt bidrar till en trygg dricksvattenförsörjning, beredskapen och förmågan att hantera kriser och formerna för detta. I syfte att skapa förutsättningar för en trygg och säker dricksvattenförsörjning ska utredaren föreslå kostnadseffektiva åtgärder för att lösa identifierade brister och beskriva hur arbetet för att genomföra dessa bör organiseras. Ett delbetänkande om den del av uppdraget som rör vattentäkternas skydd och den del som rör hur ansvaret för material i kontakt med dricksvatten ska fördelas ska redovisas senast den 1 juli 2014. Uppdraget ska slutredovisas senast den 30 juni 2015.

Texten är ett utdrag från kommittédirektiv L 2013:75 som kan läsas i sin helhet på <http://www.regeringen.se/sb/d/17149/a/220943>.

Effekter på biota av tillfällig grundvattensänkning – erfarenheter från tunnelbygget på Hallandsås

Karl Holmström

Ekologgruppen i Landskrona AB, Järnväggsgatan 19b, Landskrona

Författaren har, på uppdrag av Trafikverket, arbetat med miljöundersökningar, miljökonsekvensbeskrivningar och skyddsåtgärder inom projekt Hallandsås sedan 1997.

Tunnel genom Hallandsås

Trafikverket, före detta Banverket, har sedan 1992 bedrivit arbeten för två parallella tågtunnlar genom Hallandsås.

Tunnlarbetena har tidvis medfört stora inläckage av vatten, vilket lett fram till försök med olika tätningsskikt. Användningen av tätningsskiktet Rhoca Gil, innebar att arbetet stoppades 1997, efter det att akrylamid läckt ut i grund- och ytvatten. Efter förnyad tillståndsprövning återupptogs tunnelarbetena 2003 med ny tunnelbormaskin. Huvudtunnlarna är nu byggda och trafikstart beräknas ske under 2015.

Tunnlarna är 8,7 km långa och har borrats med diametern 10,6 m. Avståndet mellan markyta och tågtunnlar uppgår längs stora delar av tunnelsträckningen till mellan 130 och 150 m.

Geologi och hydrologi

Hallandsås är en urbergshorst med mycket varierad geologi. Berget består huvudsakligen av gnejs som är allt från friskt till helt genomvittrat. Gångar med amfibolit är vanligt förekommande. Det sprickiga berget innehåller stora mängder vatten. Kommunikationen mellan grundvattnet i berg och det ytliga grundvattnet i jord varierar starkt beroende på förekomsten av täta skikt mellan grundvattenförråden.

Byggnationen av tågtunnlarna har under byggtiden inneburit att stora mängder grundvatten letts bort och grundvattenytan i berg sänkts av. Som mest har avsänkningen påverkat grundvattenytan i berg drygt 1,5 km från tunnlar. Påverkan på ytvatten och ytligt grundvatten har haft liknande

utbredning, dock med några viktiga undantag där berggrundvattnet sänkts av men där ingen påverkan skett vid ytan.

Värdefull och känslig natur

Naturförhållandena över tunnelsträckningen är mycket varierade, vilket är kopplat till områdets geomorfologi och långvariga brukande. Norra och södra delen domineras av öppen odlingsmark, medan den mellersta delen domineras av skog och våtmarker.

Sju Natura 2000-områden (fig. 1) och tre naturreservat berörs av tunnelbyggets beräknade influensområde. Samtliga har naturtyper som är präglade av ytvatten och ytligt förekommande grundvatten.

De naturområden som är mest känsliga för ändrade grundvattennivåer är inte nödvändigtvis de där grundvattenytan sänks av mest. Tvärtom är påverkan på naturförhållandena oftast störst i terrängens lågpunkter, där grundvattenytan ligger över eller nära markytan. Avsänkningen blir oftast mindre i sådana områden men de förändringar som blir har ofta stor inverkan på växter och djurs livsmiljö. Sådana bäcksträckor och våtmarker som normalt fungerar som utströmningsområden för grundvatten har påverkats mest av grundvattenavsänkningen på Hallandsås. Effekterna på vegetationen är mer framträdande i öppna våtmarker än i skogsklädda (sumpskogar).

Kontrollprogram

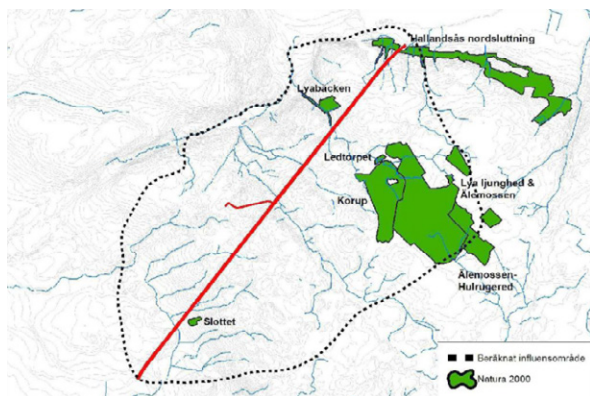
Inom projekt Hallandsås har ett mycket omfattande kontrollprogram utvecklats. Antalet övervakningspunkter inom miljöövervakningen uppgår till flera hundra. En stor del av mätningarna utgörs av registrering av vattennivåer i yt- och grundvatten. Inom projektets ekologiska kontrollprogram genomförs fortlöpande kontroll av jordbruksgrödor, skogsvitalitet och tillväxt, undersökningar av fisk i vattendrag och bottenfauna i vattendrag och hav samt vattenkemi i vattendrag. I öppna kärr och sumpskogar sker uppföljning av kärlväxter, mossor och mollusker. Provpunkter finns både inom influensområdet och som referenspunkter utanför.

Skyddsåtgärder

Inför varje år har det upprättats en plan för skyddsåtgärder för sådana känsliga områden som riskerar att påverkas under året. De skyddsåtgärder som kommit till användning är bevattning av våtmarker (fig. 2), tillförsel av vatten till bäckar samt flyttning av fisk från bäcksträckor som riskerat att torka ut.

Påverkan

Den påverkan på natur som märkts tydligast har varit uttorkade bäcksträckor (fig. 3) och avsänkta dammar. Fiskfau-



Figur 1. Tunnelsträckning genom Hallandsås och Natura 2000-områden som ligger helt eller delvis inom beräknat influensområde för grundvattenavsänkning.

nan, främst bäcköring, i berörda bäckar har decimerats men inte slagits ut. Även bottenfaunan har påverkats tydligt, men återhämtning synes ske relativt snabbt. Avgörande för detta är troligen att endast begränsade delar av bäckarna torkat ut och att uttorkningen varit begränsad i tid.

Vad gäller vegetationsförändringar är sådana främst kopplade till kärrmiljöer som påverkats av dränering under flera år i rad. Tydligast märks påverkan på vegetationen i tunnelsträckningens mellersta delar, där det så kallade mellanpåslaget till tunnelbygget under lång följd av år dränerade omgivande områden. Påverkan består i att vissa arter minskat eller i en del fall försvunnit från några lokaler. Flera mossor, inom grupperna vitmossor, blad- och levermossor har lokalt försvunnit. Bland kärlväxter synes rundsileshår och vattenklöver tillhöra de arter som går tillbaka snabbt vid dräneringspåverkan. Andra arter som reagerat negativt är tranbär, kärrviol och flaskstarr. När dräneringen upphör återkommer rundsileshår nästan direkt.

Mindre alskogspartier har påverkats av dränering, vilket fått till följd att trädskott dött. I flertalet fall har träden senare skjutit nya skott längre ner på stammarna.

Någon egentlig påverkan på molluskfaunan (sniglar och snäckor) har hittills inte kunnat konstateras.

I några våtmarker har marksjunkning noterats till följd av tillfällig dränering. Detta har fått till följd att då dräneringspåverkan upphört och vattennivån återställts har de öppna vattenytorna blivit större.

Liknande effekter som noterats på Hallandsås till följd av dräneringspåverkan har även framkommit i andra studier (se t.ex. Hultengren m.fl. 2008).

I berörda Natura 2000-områden har hittills inga betydande förändringar konstaterats, såsom utgångna arter. I Natura 2000-områdena vid Ledtorpet och Lyadalen har, genom aktiv vattentillförsel till vattendrag och kärr, dräneringspåverkan kunnat mildras betydligt. I Natura 2000-området Slottet, beläget nära tunneln, med lövskog och ett mycket artrikt slätterhävdad kärr, har ingen hydrologisk eller biologisk

påverkan iakttagits. Detta beror på förekomst av täta jordlager mellan underliggande berg och det ytliga vattnet i området.

Andra erfarenheter

Komplicerande för utvärdering av påverkan som beror på tunnelbygget är att det finns flera andra påverkansfaktorer. En sådan är väderleksmässiga årsmånsvariationer, där nederbördsförhållandena under främst vegetationsperioden kan ha avgörande betydelse för status för vissa biotoper och arter. Exempel på andra påverkansfaktorer är hävdintensitet, skogsskötsel, luftnedfall (t.ex. kväve), oväder (orkanerna Gudrun och Per), sjukdomar (t.ex. almsjuka och askskottsjuka), invasiva eller svartlistade arter (t.ex. spansk skogssnigel och jättebalsamin), andra dränerande verksamheter (bergtäkt) och påverkan av själva undersökningarna (t.ex. tramp och slitage i provytor). Ett stort antal undersökningsytor samt referensytor skapar dock underlag för att göra goda bedömningar av insamlade resultat.

Tunnelarbetena är inte helt slutförda och de hydrologiska förhållanden som kommer att vara under driftskedet har ännu inte ställt in sig. Återhämningsförlopp och mer långsamma förändringar av vegetation är några av de frågor som finns kvar att följa upp efter det tunnarna byggts helt färdiga.

Tack

Magnus Gynnemo och Fredrik Björkman, Trafikverket, tackas för granskning och rättningar av texten.

Referenser

- Hultengren, S., Weibull, H., Pleijel, H. & Blom, E., 2008: *Effekter av sänkt grundvatten på naturlig växtlighet – slutrapport 2000–2008*. Naturcentrum AB & Banverket. Trafikverket, 2007–2013: *Årsrapporter Ekologiskt kontrollprogram 2006–2012, Projekt Hallandsås*.
Trafikverket, 2010: *Ansökan om tillstånd enligt miljöbalken, Miljökonsekvensbeskrivning, med underlagsrapporter. Projekt Hallandsås*. Trafikverket.



Figur 2. Dräneringspåverkat kärr på Hallandsås som bevattnas för att minska effekterna på flora och fauna.



Figur 3. Uttorkat biflöde till Vadebäcken, Hallandsås, till följd av dräneringspåverkan från tunnelbygget.

Utveckling av riskbedömningsverktyg för bekämpningsmedel i svenska vatten

Nicholas Jarvis¹, Jenny Kreuger², Mikaela Gönczi², Mats Larsbo¹ & Julien Moeys¹

¹ Inst. för mark och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet, Box 7014, 750 07 Uppsala

² Inst. för vatten och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet, Box 7014, 750 07 Uppsala

Introduktion

Riskbedömning för förluster av bekämpningsmedel till yt- och grundvatten baseras idag i hög grad på simuleringssmodeller. Dessa modeller bygger på kunskap om spridningsvägar och hur olika markförhållanden och andra yttre faktorer samt ämnenas inneboende egenskaper påverkar vilka koncentrationer som återfinns i miljön. Kompetenscentrum för kemiska bekämpningsmedel (CKB) vid SLU utvecklar och underhåller tre modellverktyg som är viktiga hjälpmedel skräddarsydda för myndigheter som arbetar med att minimera bekämpningsmedels påverkan på vattenmiljön i Sverige.

Modellverktygen

Tabell 1 visar de tre olika modellverktygen, deras användningsområden och målgrupper. Verktygen baseras på simuleringssmodellen MACRO som utvecklades i början av 90-talet vid Institutionen för markvetenskap, SLU. MACRO har sedan dess validerats i många olika sammanhang (se t.ex. Köhne m.fl. 2009a, b, Larsbo & Jarvis 2012).

MACRO in FOCUS har sedan länge använts vid riskbedömning för godkännande av aktiva substanser på EU-nivå samt för produkter på nationell nivå (av KemI). CKB har under senare år finansierat arbetet med att ta fram två nya verktyg, MACRO-DB och MACRO-SE.

MACRO-DB

MACRO-DB utvecklades som hjälpmedel för tillståndsprövning inom vattenskyddsområden. Verktyget är tänkt att ersätta ett tidigare hjälpsystem (en lista över 'lätttrörliga substanser') som togs fram av Naturvårdsverket och Kemikalieinspektionen (bl.a. med hjälp av MACRO-modellen)

men som inte längre underhålls eller stöds. MACRO-DB (v. 4) består av en riskbedömningsprocedur i två steg: steg 1 är en webbapplikation som kräver minimala indata (endast produkt, dos och appliceringsfönster). Användaren får ett omedelbart svar om huruvida den tänkta bekämpningen utgör någon risk för vattenmiljön. Detta besked bygger på ett stort antal förutbestämda 'värsta fall'-simuleringar (en s.k. metamodel). Om svaret är negativt kan lantbrukaren gå vidare till steg 2 som innebär mer realistiska simuleringar för de faktiska markförhållanden som råder på platsen. Programmet som används för steg 2 måste laddas ner från CKBs hemsida och kräver mer detaljerade indata: klimatzon, gröda, aktiv substans, appliceringsmetod, dos och tidsfönster, samt markegenskaper (textur och mullhalt). Varje simulering tar upp till 30 minuter på en snabb PC.

MACRO-SE

MACRO-SE är ett nytt verktyg på regional skala som kan användas för att t.ex. identifiera föroreningskällor och bedöma effekterna av olika åtgärdsstrategier på förluster av bekämpningsmedel till både yt- och grundvatten. Verktyget bygger på länsvisa långtidssimuleringar med MACRO-modellen för unika kombinationer av markhydrologisk klass och jordart. MACRO-SE kan ses som en rumslig version av MACRO-DB eftersom båda verktygen utnyttjar samma rutiner för att bestämma modellparametrar. MACRO-SE kräver stora datorresurser och även kunskaper om programmeringsspråket R, vilket innebär en begränsning men kan lösas t.ex. genom att experter på modellen vid CKB kan köra den i samråd med intresserade myndigheter. Vi planerar att testa MACRO-SE mot befintliga mätserier från miljöövervakningsprogram.

Referenser

- Jarvis, N.J. & Larsbo, M., 2012: MACRO (V5.2): Model use, calibration and validation. *Transactions of the ASABE* 55, 1413–1423.
- Köhne, J.M., Köhne, S. & Šimůnek, J., 2009a: A review of model applications for structured soils: a) water flow and tracer transport. *Journal of Contaminant Hydrology* 104, 4–35.
- Köhne, J.M., Köhne, S. & Šimůnek, J., 2009b: A review of model applications for structured soils: b) pesticide transport. *Journal of Contaminant Hydrology* 104, 36–60.

Tabell 1. Användningsområden för MACRO verktygen.

Verktøy	Användning	Målgrupper
MACRO in FOCUS	Registrering (nationellt och EU)	Nationella myndigheter inom EU (t.ex. KemI), EFSA, industrin
MACRO-DB	Tillståndsprövning i vattenskyddsområden- Rådgivning	Kommuner, markägare, konsulter, rådgivare
MACRO-SE	Riskreducering och åtgärdsprogram, miljöövervakning, miljömålsuppföljning	Vattenmyndigheter, Naturvårdsverket, SGU, KemI

Underlag för lokalisering av enskilda avlopp

Eva Jirner, Lena Maxe & Bo Thunholm

Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala

Bakgrund

Enskilda avlopp kan i många fall vara en orsak till föroreningar av grundvatten, främst vad gäller läckage av bakterier och kväve. Det finns regelverk som anger att avståndet till högsta grundvattennivå under infiltrationsbädden inte får vara mindre än en meter. Vidare finns rekommendationer om avstånd till enskilda vattentäkter.

I den kommunala planeringen kan information om hydrogeologiska förutsättningar användas som underlag vid tillståndsgivningen. Särskilt viktiga är faktorerna jordart, jorddjup och topografiskt läge som har stor betydelse för grundvattennivån. Vidare är uppgifter om grundvattennivåer ett betydelsefullt underlag.

Syftet med projektet är att peka ut områden som potentiellt kan vara lämpade för infiltrationsanläggningar för enskilda avlopp. I det enskilda fallet måste sedan noggrannare undersökningar utföras för att säkerställa att kraven är uppfyllda för att anlägga enskilda avlopp.

Metod

Följande hydrogeologiska faktorer har använts för att i GIS ge en sammantagen bild av områdets lämplighet för infiltration av avloppsvatten från enskilda avlopp:

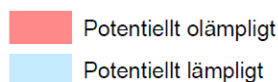
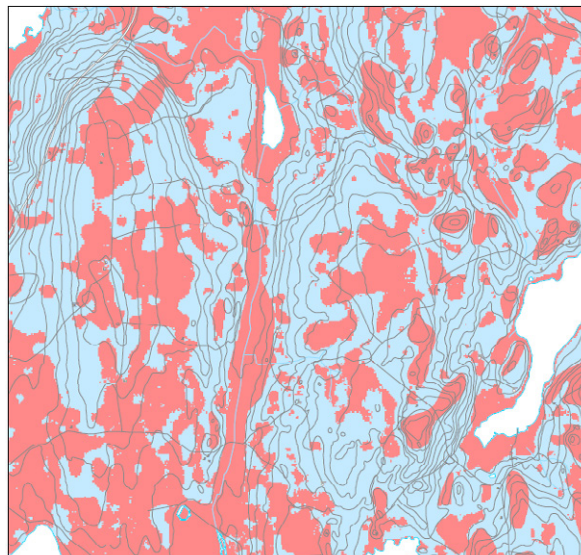
- Jordart.
- Jorddjup.
- Topografiskt index ("wetness index").

Jordarter som betraktas som olämpliga för avlopp är antingen täta eller mycket lättgenomsläppliga jordarter. Detta innebär att täta leror och genomsläppliga sand- och grusavlagringar klassificeras som olämpliga.

Grunda jorddjup och hållområden är i allmänhet olämpliga för avloppsinfiltration. Jorddjup som beräknats enligt en metod vid SGU har använts och områden med jorddjup mindre än en meter har klassificerats som olämpliga.

Topografiskt index ("wetness index") har använts som ett relativt mått på djupet till grundvattennät. Områden med höga värden på topografiskt index bedöms vara utströmningsområden. Utströmningsområden brukar ha generellt höga grundvattennivåer och är därför olämpliga för avloppsinfiltration.

Även annat underlag kan beaktas vid lokalisering av avloppsinfiltration. Exempelvis kan den månatliga sammanställningen av grundvattnets fyllnadsgrad användas i kombination med mätningar i anslutning till den tilltänkta platsen för avloppsinfiltration. Sammanställningar från SGUs



Figur 1. Områden som är potentiellt lämpliga eller olämpliga för infiltrationsanläggningar för enskilda avlopp i Aneby kommun.

grundvattennät visar att det är mycket vanligt att grundvattenytan under kortare perioder kommer nära markytan varför det är nödvändigt att undersöka förhållandena lokalt.

Resultat

Resultatet visar områden där avloppsinfiltration är olämplig (fig. 1). Inom sådana områden är det generellt svårt att finna lämpliga platser för infiltration. Ibland kan det istället vara möjligt att anlägga en markbädd.

Slutsatser

Kartorna kan användas som ett beslutsunderlag för lokalisering av avloppsinfiltration. Även områden som inte är klassade som olämpliga för avloppsinfiltration kan ha platser som är olämpliga, dvs. grundvattennivån kan lokalt befinna sig nära markyta. Andra faktorer är närhet till brunnar, fastighetsgränser, ledningsgravar, hus, vägar etc.

Referens

Naturvårdsverket, 2008: Små avloppsanläggningar. Handbok till allmänna råd. *Naturvårdsverket Handbok 2008:3*.

Grundvattenmätningar vid infrastrukturarbeten – vilken är den normala nivån och vilken precision går att nå?

Mattis Johansson

Sweco Environment AB, Hans Michelsensgatan 2, Box 286, 201 22 Malmö, mattis.johansson@sweco.se

Grundvattenmätningar – krav på precision

I samband med infrastrukturarbeten har frågor kring grundvattensänkning och grundvattennivåer ställts avseende byggande och tillhörande kontrollprogram. I dessa sammanhang efterfrågas vanligen precisa mått (0,1 m) på grundvattnets årstidsvariationer och normalnivå. Utgångspunkten inför mätningar blir många gånger att ett års mätningar borde räcka långt.

SGUs grundvattenmätningar

Nedanstående exempel har utförts på grundvattenröret Vellinge 1:6 belägen i kalkberg, Skåne län, Vellinge kommun (SGU, Grundvattennätet). Nivåer i mätpunkterna benämnda Vellinge 1:4–1:8 har mätts sedan 1969–1970 och innehåller fram till idag (maj 2013) ca 1 000 mätvärden per mätpunkt efter att ha mätts med målsättningen 2 gånger per månad eller en principiell mätfrekvens på 24 mätningar per kalenderår.

Statistisk analys

För mätpunkterna har enkel statistisk analys genomförts som ger aritmetisk medelnivå för drygt 40 års mätningar. Maximal- och minimivärden för mätpunkterna har tagits fram, vilket visar en skillnad mellan högsta och lägsta nivå. För Vellinge 1:6 noteras 3,57 m (fig. 1). Vidare kan medelvärden för vart och ett av de 24 mättillfällena per år beräknas. Detta kan tolkas som en naturlig variation för grundvattnets årstidsvariation baserad på drygt 40 års empiriska data i ett grundvattenrör. Den "normala" årstidsvariationen kan på detta sätt uppskattas till 0,4–0,5 m för mätpunkt Vellinge 1:6. Tidpunkter som 1973, 1976 och 1997 har betraktats som "torra". Tidpunkter som exempelvis 2007 kan på motsvarande sätt illustrera "blöta" tidpunkter.

Med utgångspunkten att drygt 40 års mätningar är tillräckligt för att uppskatta ett "sant" medelvärde nära grundvattenytans normalläge har mätserierna använts för att se hur lång tid det tar innan ett stabilt medelvärde nås med noggrannheten 0,1 m. För mätserie Vellinge 1:6 har hela tidsserien ett nivåmedelvärde motsvarande +18,50. Vid årsskif-



Figur 1. Grundvattennivåmätningar utförda i SGUs grundvattennät, Vellinge 1:6. Medelvärde: +18,5. Mätseriens extremnivåer (+19,86) och (+16,29) mätta 1970 resp. 1973.

tet 1980–1981 kan nivåmedelvärdet +18,40 beräknas efter ca 250 mätningar. Mätserien påbörjades 1969 (Nordberg & Persson 1974). I denna punkt krävdes drygt 10 års mätningar för att nå ett medelvärde som uppfyller villkoret att ligga <0,1 m från medelvärdet efter drygt 40 år.

Misstanken fanns att de förhållandevis torra åren 1973 och 1976 fått ett alltför stort genomslag. Motsvarande analys utfördes från år 1977 och framåt. Resultatet blev att stabilt medelvärde nåddes först år 1997, dvs. att det då krävdes 20 års mätning eller ca 500 mätningar.

Motsvarande analyser har utförts för grundvattenrören 1:4 och 1:5 i jordlagren samt 1:7 i kalkberggrunden. För rör 1:4 kan tidpunkter motsvarande år 2007 (37 år, ca 900 mätningar) respektive år 1990 (20 år eller ca 500 mätningar) noteras för jordlagerören. Motsvarande siffror för en mätpunkt i kalkberg (1:7) har beräknats till år 2004 (35 år, knappt 800 mätningar).

Grundvattenröret 1:8 har påverkats av infrastruktur under år 1997. Mätningarna från 1969–1996 är dock direkt jämförbara med ovanstående. Beräkningar visar att medelvärdet nås år 1985, dvs. 15 år efter att mätningar påbörjats. År 1997 genomfördes byggande av Yttre ringvägen (E20) i Malmö. Mätpunkten Vellinge 1:8 är belägen i direkt anslutning till en trafikplats med en grundvattensänkning på omkring 4 m.

Vid de fortsatta mätningarna, 1998 och framåt, har ett nytt jämviktsläge etablerats. Stabilt medelvärde nåddes tidigt 2008, efter ca 240 mätningar eller ca 10 år efter att analysen återupptogs med värden mätta 1998.

Slutsats

Mätningar i storleksordningen 10 år för att ta reda på grundvattnets normalläge synes inte rimligt. Anledningen till varför medelvärdet stabiliseras långsamt är inte känt. Det kan bero på yttre faktorer, exempelvis påverkan eller förändring av andra grundvattenuttag eller klimatförändringar. Annan statistisk bearbetning kan utföras på datamängden, vilket eventuellt kan ge mer distinkta resultat. Motsvarande analyser kan även utföras på andra långa mätserier med syftet att analysera om mönstret återkommer även i andra mätdata. Mätningar från Vellingebrunnarna har visat att grundvattenytans normalläge med 0,1 m upplösning tar förvånansvärt lång tid att uppnå med den beskrivna metoden. Slutsatsen kan dock dras att ett års mätningar ger ett mått på grundvattnets nivåvariation och normalläge, men att efterfrågad precision inte alltid uppnås.

Referenser

Nordberg, L. & Persson, G., 1974: The national groundwater network of Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Ca 48*, 160 s.

Presentation of IAH and IAH Sweden

Jeffrey Lewis, Niklas Blomquist, Malva Abugor-Ahlkrona, Sven Follin, Björn Holgersson, Cecilia Jansson & Bo Olofsson
Members of the board IAH Sweden

IAH international

IAH is an international organisation for scientists, engineers, water managers and other professionals working in the fields of groundwater resource planning, management and protection. It was founded in 1956 and has grown, with the increasing social and environmental importance of groundwater, to a membership of more than 3 800 members in more than 135 countries. We welcome into membership all those, from whatever country, discipline or level of technical knowledge, who want to improve their understanding of groundwater issues and support its better management. All members receive the same benefits. IAH harnesses the research, knowledge, expertise and enthusiasm of its members to promote the professional management of groundwater as part of the integrated management of water resources. Our aims are to publish, promote, encourage, sponsor and co-operate.

Publish ...

We publish *Hydrogeology Journal*, two book series, electronic and printed newsletters and other occasional publications.

Promote ...

Promoting international co-operation among hydrogeologists and others with an interest in groundwater and sharing knowledge across geographical and political borders was one of the IAH's original purposes and is still one of our main aims. Groundwater issues are not always well understood by the general public, policy makers and even some professionals in other disciplines. It is a role of IAH to provide an international voice for groundwater in world water policy and to champion its proper use and protection.

Encourage ...

IAH encourages the worldwide application of hydrogeological skills through education and technology transfer programmes. The Burdon Fund was established by the IAH to support hydrogeologists in developing nations. The IAH Burdon Network is a catalyst for improving resources to groundwater professionals in developing countries. IAH also runs a sponsored membership scheme to help hydrogeologists in developing nations with membership costs.

Sponsor ...

IAH sponsors international meetings, including an annual congress. Providing a forum for hydrogeologists to meet other professionals and form new links and friendships is a vital part of the work of the IAH. IAH puts members in touch with hydrogeologists and other groundwater specialists worldwide.

Co-operate ...

IAH works with agencies in the UN system, especially UNESCO, FAO, IAEA and the World Bank, with other water-related NGOs, and is a member of the World Water Council. IAH is also affiliated to the International Union of Geological Sciences.

IAH Sweden

IAH Sweden was voted into existence at Svenska Hydrologiska Rådet's (SHR's) annual meeting *Hydrologidagarna* in Norrköping 2012. With this vote, Sweden joined 43 other national IAH committees and over 3 800 individual members around the world.

The key to a professional organisation such as ours is outreach and maintaining contact with our members. We have arranged four local meetings during 2012, two in Göteborg (June 4th and November 13th), one in Umeå (September 12th), and one at SGU's *Geoarena* conference in Uppsala (October 17th). Our first annual meeting was held in Stockholm May 15th.

The IAH board has made such meetings a priority in an effort to offer networking opportunities to anyone who is involved in groundwater-related issues. Aside from the local meetings, here are a few of the more important activities IAH Sweden has undertaken in the past year:

- The board has made an official Swedish translation of our organisation's constitution.
- We have put together a website, www.iahsverige.se that answers the questions that many newcomers have and which provides news about recent and coming events.
- We have obtained tax-free (*ideell förening*) status from Skatteverket.
- We have established collaboration with SGU, and SGU now holds a permanent position on the IAH board.

Future activities

Local meetings will be our focus for 2014. The form of these meetings will vary according to local needs, but the purpose will always be to offer a networking and professional development opportunity. As a way to structure these meetings, we are proposing to divide Sweden into four general regions: North (Umeå), South (Malmö), East (Stockholm) and West (Göteborg). We are looking for motivated individuals to help organise meetings in each region. Organising is a great way to expand your own network and show engagement in the profession. All are welcome!

Vattenförvaltning med fokus på grundvatten – vad händer?

Carola Lindeberg¹, Björn Lagerdahl², Malin Naess³ & Pernilla Öhrström⁴

¹ Vattenmyndigheten Södra Östersjön, Länsstyrelsen Kalmar län, 391 86 Kalmar

² Vattenmyndigheten Västerhavet, Länsstyrelsen Västra Götalands län, 403 40 Göteborg

³ Vattenmyndigheten Bottenviken, Länsstyrelsen Norrbotten, 971 86 Luleå

⁴ Vattenmyndigheten i Bottenhavet, Länsstyrelsen i Västernorrland, 871 86 Härnösand

Vattenförvaltning

År 2000 tog EU ett beslut som innebär att alla vatten i EUs medlemsstater ska ha god vattenkvalitet och -kvantitet. Ramdirektivet för vatten 2000/60/EG omfattar ytvatten, kustvatten och grundvatten, med samlingsnamnet vattenförekomster. För grundvattnet kompletterades bestämmelserna med Grundvattendirektivet, 2006/118/EG. Arbetet med införlivandet av direktiven kallas för vattenförvaltning och sker i förutbestämda sexårscykler, med bland annat kartläggning och analys, förvaltningsplaner och åtgärdsprogram. Arbetet har nu nått mitten på den andra cykeln, som är från 2009 till 2015.

Arbetet med grundvatten inom vattenförvaltningen har inneburit en stor kunskapshöjning om Sveriges grundvatten. Trots det saknas fortfarande mycket information om Sveriges grundvatten.

Vad händer?

Under 2013 sker för alla grundvattenförekomster en ny statusklassificering och riskbedömning. Statusklassificeringen är en beskrivning av vattenkvalitet och -kvantitet. Riskbedömningen innebär en bedömning av risken för att grundvattenförekomsten inte har god status år 2021. Resultatet presenteras i databasen Vatteninformationssystem Sverige (VISS, www.viss.lst.se).

Som underlag till statusklassificeringen av förekomster nas vattenkvalitet används kemidata från nationell och regional miljöövervakning tillsammans med data från kommunernas råvattenkontroll i databasen Vattentäcksarkivet. För riskbedömningen används en modellering av påverkan från potentiella föroreningskällor, tillsammans med all tillgänglig kunskap om grundvattenförekomsten och om dess omgivning.

Under våren 2014 lämnas förslag till miljökvalitetsnormer (MKN) och undantag i form av tidsfrist eller lägre ställda krav. MKN för grundvattenförekomster innebär att kvalitetskrav ställs så att god kemisk och kvantitativ status uppnås.

De grundvattenförekomster som riskerar försämrad status eller att till 2021 inte uppnå god status ska omfattas av ett åtgärdsprogram. Åtgärdsprogrammet ska ange de åtgärder som behöver vidtas för att 2015 års fastställda miljökvalitets-

normer ska kunna uppfyllas. Myndigheter och kommuner ska inom sina ansvarsområden vidta de åtgärder som behövs. Åtgärdsprogrammet ska inför beslut vara förankrat hos respektive åtgärdsmyndighet och kommun.

Genom återrapporteringen för första cykelns åtgärdsprogram följs andra myndigheters och kommuners arbete för ett bättre grundvatten. Arbetet med att bilda eller revidera vattenskyddsområde för drickvattentäkter och framtagnig av vattenförsörjningsplaner är ofta påbörjat, men generellt sett går arbetet långsamt.

Den 1 november 2014 går förslag till ny statusklassificering och riskbedömning, åtgärdsprogram och förvaltningsplan ut på remiss fram till 1 maj 2015, inför fastställande och beslut 22 december 2015.

Övervakning av grundvatten

Vattenmyndigheternas rapportering av övervakningsprogram till EU visar att övervakningen av Sveriges grundvattenförekomster är mycket bristfällig. Av drygt 3000 grundvattenförekomster är det mindre än 15 % som har någon form av kemisk eller kvantitativ övervakning. Både den geografiska täckningen och frekvensen behöver förätas för att kunna följa miljötillståndet, både för grundvattenkvaliteten och främst för grundvattenkvantiteten. Övervakningen av vattenkemi utgörs till största delen av kommunal råvattenkontroll, där syftet med övervakningen är att producera rent drickvatten. Råvattenkontrollen är mycket viktig för övervakningen av grundvatten, även om den ofta inte uppfyller kraven för miljöövervakning vad avser provtagningsparametrar och frekvens. I många vattentäkter infiltreras ytvatten i grusåsar för att säkerställa kvantiteten. För att få en bättre övervakning av grundvattenförekomsterna behöver finansieringen av regional miljöövervakning säkerställas och råvattenkontrollen kvalitetsgranskas.

Vattenmyndigheterna har under 2013 tagit fram en strategi, "Anpassning av övervakning till ramdirektivet för vatten". Strategin beskriver hur brister i den befintliga övervakningen kan åtgärdas, vilken samordning mellan olika aktörer som behövs samt vilka beslut som främst centrala myndigheter måste fatta för att få en kostnads- och åtgärdseffektiv övervakning av våra vatten.

NV Skåne – S Halland, utveckling mot en tryggare vattenförsörjning genom mellankommunalt samarbete

Patrik Lissel

WSP, Halmstad, patrik.lissel@wspgroup.se

Uppstart

I september 2008 initierades en utredning med fokus på den framtida vattenförsörjningen inom åtta kommuner i nordvästra Skåne och södra Halland (fig. 1). Bakgrund till utredningen vilade i ett gemensamt behov av att trygga den framtida vattenförsörjningen. Detta kan exempelvis göras genom mellankommunalt samarbete kring de vattenresurser som finns att tillgå, såväl yt- som grundvatten.

Regionalt samarbete

Samarbete kring dricksvattenförsörjningen finns inom regionen sedan lång tid tillbaka genom Sydsvatten. En huvudfråga för utredningen var därför om utvidgning av Sydsvatten, genom anslutning av ytterligare kommuner, kunde vara en lösning.

Drivkrafter

Inom utredningen identifierades de drivkrafter som, för respektive kommun, låg bakom intresset för deltagande i, och finansiering av, utredningen. Det är intressant att se att kommunerna ser sig stå inför samma typ av problem och utmaningar för att trygga den framtida vattenförsörjningen. Därtill har man en likartad syn på vilka fördelar som finns i en regional lösning.

Vattenresurser och vattenbehov

Såväl tillgängliga vattenresurser som vattenbehov inom de åtta kommunerna har en ojämn fördelning. Vissa resurser är av sådan storlek att det kan ses som potentiella regionala tillgångar, men vattnet måste kunna distribueras dit behovet finns. Sammankoppling av flera mindre tillgångar kan även leda till en god trygghet i försörjningen.

Ekonomi

Olika kommuner har olika förutsättningar för att kunna finansiera en regional lösning. Kostnaden kan främst knytas till avstånd (ledningslängd) och vattenbehov. Så vad har hänt sedan den inledande utredningen färdigställdes i mars 2009? Har man löst hela eller delar av den problematik man identifierade? Eller är man på (rätt) väg?

Olika lösningar

Under 2011 tecknades avsiktsförklaringar mellan Ängelholm och Båstad om anslutning till Sydsvatten. För Båstads del blir detta en lösning för försörjningen söder om Hallandsås. För kommunens norra del ser lösningen ut på annat sätt. Här

pågår ett mellankommunalt samarbete mellan Halmstad, Laholm och Båstad. Genom fysisk sammankoppling (ledningar) kan de grundvattenresurser som finns inom denna region användas på ett mer optimalt sätt och försörjningen tryggas genom att täkterna kan stå som reserver för varandra. Översyn rörande möjlig optimering av befintliga täkter görs även. Ökade uttagsrätter, där resurserna medger detta, tryggar den framtida försörjningen i denna tillväxtregion. Klippan och Hässleholm har inte samma drivkrafter för liknande samarbete, bl.a. då de lokala resurserna ansågs vara tillräckliga. Örkelljunga och Perstorp såg ingen lösning i anslutning till Sydsvatten. De geografiska avstånden var för stora för att ledningsinvesteringen skulle kunna lösas.



Figur 1. De åtta kommunerna inom utredningen (i norr) och Sydsvattenanslutna kommuner 2008 (i söder).

Groundwater recharge distribution – snow and frost influence

Angela Lundberg¹ & Jens Kvaerner²

1. Division of Geosciences and Environmental Engineering, Luleå University of Technology, SE-971 87 Luleå, Sweden

2. Bioforsk, Norwegian Institute for Agricultural and Environmental Research, Fr. A. Dahlsvei 20, NO-1430 Ås, Norway

Background

Vast parts of the northern globe are exposed to snowfall and seasonal frost. The spatial and temporal variations of infiltration during snow melt for these areas set the upper boundary conditions for unsaturated zone processes, possible preferential fluxes and therefore also for the fate of pollutants. In spite of this are the effects of snow and frost on the temporal and spatial distribution of infiltration and percolation processes often neglected or treated summarily by groundwater modellers. Within the EU-project GENESIS (2013), aiming to provide scientific basis and technical guidance for the update of the European groundwater directive, Luleå University of Technology is together with other European researchers emphasizing the need for groundwater modellers to include these processes when simulating recharge in northern areas.

Snow distribution and sublimation

Snow accumulation is more unevenly distributed than rainfall since snow accumulation is strongly influenced by wind speed and direction. More snow is accumulated on the lee

side of obstacles and less on the wind side (Fig. 1). The snow surface is also more even than the ground surface so there is more snow in depressions and ditches than on ridges. Forest canopies redistribute the snow so there is less snow under tree crowns than between them, and in mountainous areas the snow distribution is often very uneven (Fig. 2).

Distribution of frost and infiltration

Since snow is an excellent insulator the frost depth (Fig. 1) and the infiltration process will also be influenced. There will be less frost in depressions due to thicker snowpack than on even ground or on ridges. The permeability of frozen soil is influenced by among others the soil type, its water and organic matter content, and the timing of the first snow in relation to the timing of sub zero temperatures. Several studies show the importance of depression focused infiltration in areas with seasonal soil frost (Fig. 3) and this is in some areas believed to be a major source of groundwater (Berthold et al.

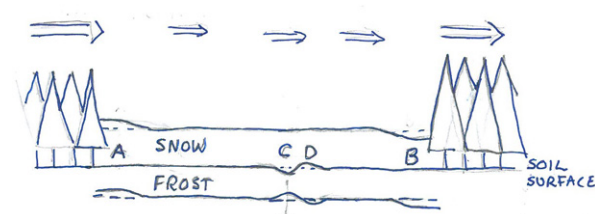


Figure 1. Expected snow and frost depth patterns for a field surrounded by forests along with prevailing wind direction. Base. Mountain snow depths (Winstral et al. 2002).

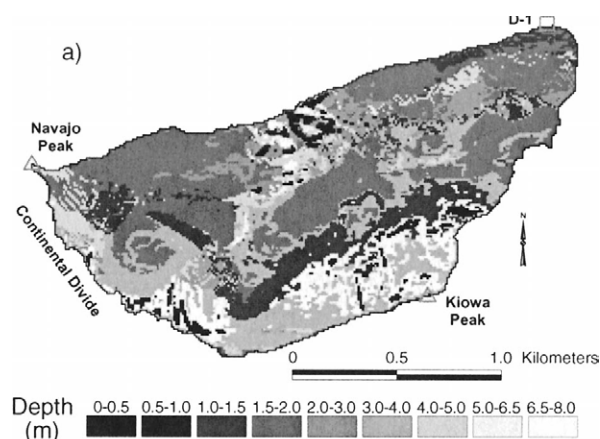


Figure 2. Mountain snow distribution (Winstral et al. 2002).



Figure 3. Focused recharge in a field depression. On April 3 large volumes of melt water is gathered in a depression due to low infiltration capacity of the frozen soil, and on April 15, after thawing the water infiltrates rapidly (Grue, south-west Norway).

2004). Focused infiltration may cause preferential flow processes, and rapid bypass of water and potential contaminants through unsaturated layers.

Acknowledgements

The study is funded by EU FP7, Formas and Kempe.

Referenser

Berthold, S., Bentley, L.R., & Hayashi, M., 2004: Integrated hydrogeological and geophysical study of de-

pression focused groundwater recharge in the Canadian prairies. *Water Resources Research* 40, W06505, doi:10.1029/2003WR002982.

GENESIS, 2013: *Groundwater and dependent ecosystems: new scientific and technological basis for assessing climate change and land-use impacts on groundwater*. <<http://www.the-genesisproject.eu>> Accessed September 20, 2013.

Winstral, A., Elder, K. & Davis, R.E., 2002: Spatial snow modeling of wind-redistributed snow using terrain-based parameters. *Journal of Hydrometeorology* 3, 524–538.

Förslag till vägledning för kommunal VA-planering

Margareta Lundin-Unger

Havs- och vattenmyndigheten, Box 11 930, 404 39 Göteborg

Bakgrund

Det finns ett stort intresse för kommunal VA-planering och mycket arbete pågår inom kommunerna med att ta fram olika planer och styrdokument. Planeringen behöver beakta högre miljökrav, klimatförändringar, åldrad infrastruktur, dagvatten osv. Utanför VA-verksamhetsområdet har kommunen också ett planeringsansvar. Många enskilda avlopp har allvarliga brister och riskerar att förorena dricksvatten och bidra till övergödningen.

Havs- och vattenmyndigheten har tagit fram en nationell vägledning om kommunal VA-planering i samverkan med Naturvårdsverket, Länsstyrelsen i Stockholms län, Vattenmyndigheterna, SKL och Svenskt Vatten. Vägledningen bygger på den manual som Stockholms länsstyrelse tog fram i samråd med andra länsstyrelser 2009. Tanken har varit att, med utgångspunkt från den, bygga på de erfarenheter som gjorts av kommuner och konsulter, att bredda perspektivet samt att få med vattenförvaltningens krav.

Tanken är att vägledningen ska vara ett stöd till kommunerna i sitt arbete med VA-planering och hållbara vattentjänster och därmed nå målet med vattenförvaltningen att alla vatten ska ha god status.

Kommunal VA-plan

Vägledningen behandlar kommunal VA-planering enligt den definition som anges nedan. Den visar också hur arbetet med VA-planering kan samordnas med annan planering som också behöver göras i kommunen. En kommunal VA-plan är en del av kommunens övergripande planering. En förutsättning för detta är reglerna om vattenförvaltning och vattenmyndigheternas åtgärdsprogram som syftar till att åstadkomma god ekologisk, kemisk och kvantitativ status för vatten. Detta innebär att kommunerna i högre grad behöver en vidare planering för de kommunala vattenfrågorna.

Med kommunal VA-plan menas ett styrdokument som beskriver hur VA-försörjningen ska ordnas i hela kommunen, dvs. både inom och utanför kommunalt verksamhetsområde. Med VA-försörjning menas dricksvattenförsörjning samt omhändertagande av avloppsvatten. Avloppsvatten innefattar vanligtvis spillvatten och dagvatten och ibland även dräneringsvatten.

En kommunal VA-plan är inte något som krävs i vattentjänstlagen, miljöbalken eller plan- och bygglagen. Den saknar rättsligt bindande verkan och ska därför ses som kommunens eget styrmedel för att åtgärder ska kunna genomföras på ett effektivt sätt. En kommunal VA-plan enligt ovanstående definition motsvarar en "vatten- och avloppsvattenplan" enligt åtgärd 37 i vattenmyndigheternas åtgärdsprogram för perioden 2009–2015. Det är genom detta juridiskt bindande för kommunerna att ta fram en VA-plan. För att en kommunal VA-plan ska ha denna status krävs följande:

- VA-planen ska innehålla en beskrivning av VA-försörjningen och dess påverkan på vattenstatus, motsvarande en VA-översikt enligt denna vägledning.
- VA-planen ska innehålla en VA-policy eller motsvarande politiskt beslutad viljeyttring med principer för prioriteringar mellan åtgärder och mellan geografiska områden.
- VA-planen ska kunna utgöra underlag för beslut om finansiering av föreslagna åtgärder och beskriva hur dessa bidrar till att god vattenstatus kan uppnås.

Miljö kvalitetsnormerna för vatten rör främst skyddet för miljön även om det för grundvatten finns ett hälsoperspektiv, t.ex. miljö kvalitetsnormen för nitrat. Det är viktigt att VA-planeringen i lika hög utsträckning värnar skyddet för människors hälsa och livsmedelssäkerhet.

Vattenförsörjningsplan – ett underlag i arbetet med den kommunala VA-planen

Begreppet vattenförsörjningsplan har utvecklats inom ramen för det nationella och regionala miljömålsarbetet och har fått stor spridning. Hur vattenförsörjningsplaner kan se ut och hur man kan ta fram dem beskrivs bland annat i rapporter från SGU (Blad m.fl. 2009) och Länsstyrelsen i Västra Götaland (2006). En vattenförsörjningsplan bör beskriva och lyfta fram de naturgivna vattenresurserna samt innehålla en prioritering av de viktiga resurserna med syftet att säkra tillgången på dricksvatten i ett område på lång sikt. Vattenförsörjningsplanen bör sammanställa alla behov av vatten, även för t.ex. bevattning och industriändamål. En vattenförsörjningsplan kan utgöra en del i arbetet med VA-planen, men kan också vara en fristående del som ger ett underlag till VA-planen. Det pågår också ett arbete med regionala vattenförsörjningsplaner på flera håll i landet oftast av länsstyrelserna men i vissa fall av kommuner i samarbete t.ex. genom ett regionalt kommunalförbund. Dessa kopplar till och syftar också att ge underlag till kommunala VA-planer och vattenförsörjningsplaner.

En kommunal VA-plan kan och bör utformas så att den även inrymmer allt som ska ingå i en vattenförsörjningsplan vad gäller såväl tillgång som behov av vatten.

Referenser

- Blad, L., Maxe, L. & Källgård, J., 2009: Vattenförsörjningsplan – identifiering av vattenresurser viktiga för dricksvattenförsörjning. *SGU-rapport 2009:24*.
- Länsstyrelsen i Västra Götalands län, 2006: Vattenförsörjningsplaner – innebörd och innehåll. *Länsstyrelsen Västra Götalands län, Rapport nr 2006:99*.

Uppsalaåsens dricksvatten – en förutsättning för expansion?

Bertil Lustig

Uppsala Vatten och Avfall AB, Box 1444, 751 44 Uppsala, bertil.lustig@uppsalavatten.se

Uppsalas vattenförsörjningssystem

Uppsalas vattenförsörjningssystem är uppbyggt kring Uppsalaåsen. Åsen fungerar som råvattenmagasin, vattentäkt och för behandling av ytvatten från Fyrisån och sjön Tämnaaren. I dag försörjs ca 150 000 personer med dricksvatten från åsen. Anläggningarna är dimensionerade för 200 000 personer men kan byggas ut till att klara att försörja 300 000 personer.

En grundvattenförekomst med liknande möjligheter att ta ut vatten finns inte inom Uppsala kommun eller dess närhet. Uppsalaåsen är en förutsättning för att Uppsala ska kunna växa och försörja detta antal personer. Staden ligger på åsen då förutsättningarna för vattenförsörjning alltid varit mycket god. Här finns en stabil mark att bygga på och en omgivning med bördig lerbord.

Åsen

Den del av Uppsalaåsen som utnyttjas för Uppsala stads försörjning beräknas innehålla ca 100 miljoner m³ grundvatten för dricksvattenproduktion vilket motsvarar fem års behov. Ett för stort uttag ur magasinet resulterar dock i att grundvattennivåerna sjunker vilket påverkar enskilda vattentäkter och ger upphov till marksättningar. För att kompensera det uttag som görs för produktion av dricksvatten används konstgjord infiltration av ytvatten i åsen.

Uppsalaåsen befinner sig till stora delar under mäktiga lerlager men i områden där åsen ligger i dagen finns stor risk för föroreningar att transporteras ned till grundvattnet. Därigenom ställs höga krav på skyddsåtgärder vid arbeten på dessa ytor.

Konstgjord grundvattenbildning

Konstgjord grundvattenbildning sker genom att ytvattnet tas från Fyrisån och pumpas för infiltration vid två platser norr om Uppsala. För att inte minska vattenflödet i Fyrisån under tillståndet för vattendomen förs vatten över från sjön till Fyrisån. Detta sker fyra år av fem. Uppehållstiden för det infiltrerade vattnet till närmaste brunnar i åsen är mellan sex och åtta månader. Den långa uppehållstiden för det infiltrerade vattnet medför att vattnet förändras genom olika processer och får samma karaktär som naturligt bildat grundvatten. Uttag för produktion av dricksvatten sker sedan längs med åsen och staden på fyra platser.

Anläggningar

I Uppsala stad finns två vattenverk i kontinuerlig drift och ett reservvattenverk. De båda vattenverken togs i drift 2007 och har behandling för mjukgörning av det annars hårda vattnet som kommer från åsen. Det finns två vattentorn vars volym motsvarar en halv dygnsförbrukning som finns i reserv om driftstörningar uppkommer.

Funktionsanalys åsen

Uppsalaåsen är av strategisk betydelse för kommunens möjlighet att försörja kommunen med vatten. Det finns en omfattande kompetens gällande åsens funktion hos personer inom Uppsala Vatten och konsultföretag.

Projektets syfte är därför att samla kunskap och erfarenheter och sprida kompetens. En grupp kommer att etableras som långsiktigt och över generationsgränser tillvaratar Uppsala Vattens intressen för Uppsalas vattenförsörjning samt att en funktionsanalys kommer att utföras.

Upphandling för projektet är utskickad och det beräknas pågå till mars/april 2014 och resultera i att en grupp skapas som långsiktigt arbetar vidare med frågor gällande åsen.

Projektet

Genom samarbete mellan uppdragets konsult och Uppsala Vatten kommer en organisation för funktionsanalysen att arbetas fram med projektupplägg.

Vid framtagande av vattenförsörjningstrategi för framtida drift och utveckling av Uppsalaåsen med dess infiltrationsanläggningar är samverkan mellan hydrologi och vattenbalans och kvalitet, såsom t.ex. halterna av uran, organiskt material och läkemedelsrester mycket viktigt. Förutom vattenverk, ledningsnät och eventuellt dagvattenhantering ska hela åsen ingå som en del av processen. Förslag på framtida utredningar är konsekvenser av att använda åsen som energilagrar samt strategi för drift vid olika typer av krislägen.

Förslag till operativa riktlinjer och instruktioner ska arbetas fram som stöd för driftpersonal såsom t.ex. styrningen av infiltrationen, optimal grundvattennivå och trendanalys av förändring.

Gällande informationshantering ska det i projektet arbetas fram en strategi för att säkerställa att det finns en långsiktig tillgång till kompetens avseende åsen samt att ta fram underlag till struktur på hur befintlig och kommande dokumentation ska hanteras.

Energilagrar i uppsalaåsen

Åsen används även som resurs för energilagrar i form av grundvattenvärme och kyla. Intresset för att anlägga denna typ av anläggning har på senare tid ökat. Uppsala Vatten ser denna utveckling som oroande då kunskaperna om risker för påverkan på råvattnet är bristfälliga. Den största farhågan i sammanhanget är att temperaturförändringar uppstår och då främst en höjning av temperaturen vilken kan innebära att kvaliteten på råvattnet försämrats.

Miljökvalitetsmålet *Grundvatten av god kvalitet* – preciseringar och målmanual

Lars-Ove Lång¹, Lena Maxe², Helena Dahlgren³ & Göran Risberg³

¹Sveriges geologiska undersökning, Guldhedsgatan 5A, 413 20 Göteborg

²Sveriges geologiska undersökning, Box 803, 101 36 Stockholm

³Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala

Preciseringar i fokus

Arbetet med miljökvalitetsmålen har under de senaste åren förändrats. Tillkommit har Miljömålsberedningen som instiftades av regeringen 2010. Det är en parlamentariskt sammansatt beredning som har i uppgift att ta fram strategier för hur miljökvalitetsmålen och generationsmålet kan uppnås. Men de ursprungliga miljökvalitetsmålen finns kvar och SGU ansvarar fortfarande för *Grundvatten av god kvalitet*. Nytt är ett större fokus på de reviderade preciseringar som regeringen beslutade om våren 2012 (Regeringskansliet 2012). Regeringens utgångspunkt vid utformningen av preciseringarna var att de ska 1) ange ett miljötillstånd, 2) vara åtgärdsneutrala, 3) inte för omfattande och 4) så långt som möjligt vara likartat utformade.

För *Grundvatten av god kvalitet* fastställdes sex preciseringar:

- Precisering 1: Grundvattnet är med få undantag av sådan kvalitet att det inte begränsar användningen av grundvatten för allmän eller enskild dricksvattenförsörjning.
- Precisering 2: Grundvattenförekomster som omfattas av förordningen (2004:660) om förvaltning av kvaliteten på vattenmiljön har god kemisk status.
- Precisering 3: Utströmmande grundvatten har sådan kvalitet att det bidrar till en god livsmiljö för växter och djur i källor, sjöar, våtmarker, vattendrag och hav.
- Precisering 4: Grundvattenförekomster som omfattas av förordningen (2004:660) om förvaltning av kvaliteten på vattenmiljön har god kvantitativ status.
- Precisering 5: Grundvattennivåerna är sådana att negativa konsekvenser för vattenförsörjning, markstabilitet eller djur- och växtliv i angränsande ekosystem inte uppkommer.
- Precisering 6: Naturgrusavlagringar av stor betydelse för dricksvattenförsörjning, energilagring, natur- och kulturlandskapet är fortsatt bevarade.

När är målet uppnått?

För att bedöma när dels preciseringarna och dels hela miljökvalitetsmålet kan anses uppnått behövs en beskrivning av vad uppnåendet innebär liksom hur uppföljningen bör utföras. Detta tas nu fram för alla miljökvalitetsmål av miljömålsansvariga myndigheter i form av målmanualer som ska vara klara våren 2014.

I SGUs förslag till målmanual för *Grundvatten av god kvalitet* har därför några förtydliganden tagits fram för varje

precisering. Till respektive förtydliganden kopplas befintliga indikatorer enligt miljömålssystemet eller, som i de flesta fall, förslag på nya indikatorer eller andra typer av uppföljningsmått. Andelen grundvattentäkter som har vattenskyddsområden är ett exempel på en indikator där uppdaterade data årsvis behövs. Uppföljning kan förutom rena mätdata även utföras med olika bedömningsunderlag.

Så förtydligas preciseringen om grundvattnets kvalitet

Som exempel ges här förslag från SGU på hur precisering 1 om grundvattnets kvalitet kan förtydligas:

- Förtydligande 1: Grundvattnets kvalitet ska så långt som möjligt vara känd och tillräckliga och effektiva åtgärder för att förebygga eller begränsa tillförsel av förorenande ämnen till grundvatten, från pågående eller tidigare verksamhet, är genomförda.
- Förtydligande 2: Alla kommuner känner till problemområdena för enskild vattenförsörjning och anger vid behov åtgärder.
- Förtydligande 3: Bra skydd finns för naturgrusavlagringar och andra geologiska formationer av stor vikt för nuvarande eller framtida dricksvattenförsörjning.
- Förtydligande 4: Länsstyrelser eller andra regionala aktörer och kommuner har en aktuell vattenförsörjningsplan (eller motsvarande) som kan ligga till grund för det kommunala översiktsplanarbetet och arbetet med de regionala utvecklingsprogrammen.
- Förtydligande 5: Ekonomiska styrmedel bör inrättas så att VA-avgiften innefattar samtliga kostnader för hantering av dricksvatten utifrån en hållbar vattenanvändning.

Vad händer nu?

Under hösten har främst berörda myndigheter och länsstyrelser möjlighet att kommentera förslagen i målmanualerna. För grundvattenmålet kommer SGU att 1) besluta om prioritering bland de olika förslagen på indikatorer och uppföljningsmått som finns i utkastet till målmanual och sedan 2) arbeta med att ta fram underlag för genomförande av den prioriterade uppföljningen.

Referens

Regeringskansliet, 2012: Svenska miljömål – preciseringar av miljökvalitetsmålen och en första uppsättning etappmål. *Miljödepartementet. Ds2012:23*, 172 s.

Lokalisering av en vattentäkt ur ett hållbarhetsperspektiv

Lina Lörmyr¹, Malin Magnusson¹, Tove Karnstedt² & Carl Runsbech²

¹ Sweco Environment AB, Malmö, lina.lormyr@sweco.se, malin.magnusson@sweco.se

² Sweco Environment AB, Göteborg, tove.karnstedt@sweco.se, carl.runsbech@sweco.se

Begreppet hållbarhet

Hållbarhet är ett välanvänt och allmänt känt begrepp. Samtidigt är det svårdefinierat och ibland svårt att tillämpa i vardagen, både för allmänhet och för organisationer. Problematiken centreras ofta kring att hållbarhet i ett specifikt sammanhang inte behöver innebära hållbarhet i ett annat.

Vid analys av hur hållbart något är styrs resultatet till stor del av vilka aspekter som inkluderas i bedömningen och hur dessa viktas. Gemensamt för de flesta definitioner av hållbarhet är att de berör och betonar ett samspel mellan de ekologiska, ekonomiska och sociala dimensionerna (Drexage 2010).

Arbetsmetodik för kommunikation och tydlighet av hållbarhet

Sweco har under våren 2013 arbetat fram en metodik som tydliggör kommunikationen av begreppet hållbarhet i ett vattenförsörjningsprojekt, men också de aspekter som ligger till grund för hur hållbar en lösning är. Arbetssättet utgår ifrån endialog med de parter som berörs av projektet. Därtill finns en modell som används för att jämföra hållbarheten kopplad till olika vattenförsörjningsalternativ.

Modellen består av tre övergripande steg som syftar till att (1) definiera hållbarhet för det specifika projektet, (2) bedöma bakomliggande behov och möjligheter och (3) jämföra olika alternativ med varandra ur ett hållbarhetsperspektiv. Ett projekt där metodiken prövats avser utredning inför lokalisering av en ny vattentäkt.

Hållbarhet vid prospektering av ny vattentäkt

Grunden för dricksvattenförsörjning är att det finns tillgång till ett råvatten som är tillräckligt bra avseende kvaliteten och kan tas ut i tillräckligt stora mängder. Därtill finns en rad aspekter som påverkar lämpligheten i olika lokaliseringar av en vattentäkt. Beroende på hur behovet ser ut och vilka förutsättningar som styr i det enskilda fallet kan man vid varje utredning för ny dricksvattenförsörjning lista en rad alternativ. Valet av det mest lämpliga alternativet styrs vanligen av vattenkvalitet, uttagbar mängd, vilka potentiella hot som finns för förorening av vattentäkten och den kostnad som är förknippad med etablering och drift av vattentäkten. Dessa aspekter kan föras till de delar av begreppet hållbarhet som grovt kan benämnas miljömässig respektive ekonomisk hållbarhet.

De aspekter som ryms inom begreppet social hållbarhet är ofta sekundära vid denna typ av utredning, om de alls finns med. Sådana aspekter kan t.ex. vara acceptans från berörda,

dvs. vad man "känner och tycker" inför en viss placering av en vattentäkt. Inte sällan är acceptansen kopplad till hur ett framtida vattenskyddsområde kan komma att påverka omgivningen.

Studie i Bollebygds kommun

Bollebygd är en liten kommun med 8 300 invånare belägen mellan Göteborg och Borås. I kommunens norra del ligger samhället Tölleby med ca 350 invånare. Nuvarande dricksvattenförsörjning i Tölleby samhälle fungerar inte tillfredsställande och kommunen har beslutat att utreda hur en mer långsiktigt hållbar vattenförsörjning kan ordnas.

Metodik

Inledande studier av vattenförekomster kring Tölleby resulterade i vidare utredning av två grundvattenförekomster. Dessa benämns Sjögared och Horssared. Den modell Sweco tagit fram för utvärdering av hållbarhet användes i studien.

Resultat

Resultatet visar i det här fallet att det är främst de ekonomiska och sociala dimensionerna av hållbarhet som har störst inverkan på vattentäckernas hållbarhet. Det som skiljer sig mest mellan de två alternativen är: (1) En vattentäkt i Sjögared har fler intressenter som påverkas av ett framtida vattenskyddsområde. Dock skulle en vattentäkt vid Horssared sannolikt påverka invånare i grannkommunen Borås. Samtidigt är det osäkert på vilket sätt det större antalet berörda i Sjögared faktiskt kommer att påverkas av ett vattenskyddsområde då de flesta "bara bor" och inte driver verksamheter som innebär stora risker för en vattentäkt. (2) En vattentäkt vid Sjögared innebär placering nedströms ett avloppsreningsverk vilket kan leda till större utmaningar för att få acceptans från invånarna. (3) Vattentäkten i Horssared tillhandahåller sannolikt ett råvatten av sämre kvalitet än vid Sjögared. Resultatet av studien är ett av flera underlag inför kommunens beslut om lokalisering av en ny vattentäkt för Tölleby samhälle.

Tack

Tack till Bollebygds kommun.

Referenser

Drexage, J.D.M., 2010: *Sustainable development: from Brundtland to Rio 2012*. United Nations Headquarters, New York: International Institute for Sustainable Development (IISD).

Disentangling ecosystem stressors: characterising the role of pesticides impacting stream environments

Ursula S. McKnight¹, Jes J. Rasmussen², Brian Kronvang², Philip J. Binning¹ & Poul, L. Bjerg¹

¹ Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby, Denmark

² Department of Bioscience, Aarhus University, Vejlsøvej 25, 8600 Silkeborg, Denmark

Groundwater and surface water resources are increasingly under pressure from global exploitation and anthropogenic impacts, such as contamination by chemicals. In response, the European Water Framework Directive requires member states to evaluate all types of contamination sources within a watershed in order to assess their direct impact on water quality (Hinsby et al. 2008, Whiteman et al. 2010, McKnight et al. 2012). The clear linkage between these two systems requires assessments of “good” chemical and ecological status to include an evaluation of the contribution of toxicants entering surface water via the groundwater pathway.

Pesticides are among the most harmful class of compounds impacting surface waters, particularly since they have been so widely used to control the occurrence of pests and weeds in urban and agricultural landscapes (McKnight et al. 2013). In order to properly identify and subsequently mitigate the impacts to surface water ecosystems, a better understanding of the sources and types of pesticides expected in surface waters becomes essential. Here we (i) assess current trends for pesticide concentrations in surface water and compare them to the historical use of pesticides in Denmark (using sales data), (ii) investigate the importance of groundwater as a pathway for pesticide impacts to ecosystems, and (iii) quantify the impact of sediment-bound pesticides affecting stream macroinvertebrates. Notably, sediment-bound pesticides have long been disregarded as an important source of ecotoxicity, due predominantly to an assumed reduction in bioavailability.

The following pathways for pesticides in headwater streams were thus investigated: chronic exposure due to groundwater inflow, acute exposure due to storm-water runoff, and the presence of sediment-bound pesticides in streams. Pesticide analyses, including impacts to macroinvertebrates – calculated using the toxic units (TU) approach – are presented for twelve sampling locations in two watersheds in Denmark. Biomonitoring was conducted using the traditional Danish Stream Fauna Index (DSFI) and the more recent SPEcies At Risk (SPEAR) index, which can be coupled to the TU in order to identify the dominant sources of toxicity.

In total, 32 pesticides were detected in at least one phase: 18 herbicides, 7 fungicides and 7 insecticides. In addition to hexachlorobenzene, never authorised for use as a fungicide in Denmark, another 9 compounds were detected comprising metabolites, intermediates, potential impurities or isomers of a pesticide. Results show that pesticides were major contributors to the overall ecological impairment of the studied streams. This was determined using the SPEAR index, but

was not recognised by the currently-approved DSFI method. Chemical toxicity analyses identified sediment-bound insecticides such as chlorpyrifos and hexachlorobenzene as the primary source for ecotoxicity in the studied streams, even when using a safety factor to account for a decreased bioavailability of the particulate-bound contaminants.

Almost all pesticides not authorised for use in Denmark and pesticide metabolites and impurities, were detected during base-flow conditions when groundwater discharge is the most dominant source of inflow to the streams. Notably, inclusion of these compounds in the TU calculations significantly increased the overall toxicity for all sampling sites regardless of the flow scenario. Our findings, supported also by other published studies (Warren et al. 2003, Kuivila et al. 2012), indicate that bound-phase pesticide residues could be important for both acute and chronic exposures of the biota since they consistently harboured higher toxic potential than any of the dissolved-phase samples, despite the limitation of having only a few sediment samples in our study.

The presence of the groundwater pathway indicates that stream sampling during base-flow conditions can provide valuable information about the long-term fate of pesticides in groundwater. Both aqueous and sediment phases should be sampled to assess the ecotoxicological health of streams and rivers. Ideally, integrative approaches should be developed with monitoring strategies simultaneously involving chemical analyses, ecotoxicological tools and the study of population and community responses (e.g. Connon et al. 2012) in order to obtain a more holistic picture.

Acknowledgements

This work was supported by the Danish Strategic Research Council (RiskPoint project). We thank all persons involved in the field studies analyzed in this paper, in particular Mikael E. Olsson and Morten Andreason (DTU lab technicians), and Uffe Mensberg and Henrik Stenholt (AU field technicians).

References

- Connon, R.E., Geist, J. & Werner, I., 2012: Effect-based tools for monitoring and predicting the ecotoxicological effects of chemicals in the aquatic environment. *Sensors* 12, 12741–12771.
- Hinsby, K., Condeso de Melo, M.T. & Dahl, M., 2008: European case studies supporting the derivation of natural background levels and groundwater threshold values for the protection of dependent ecosystems and human health. *Science of the Total Environment* 401, 1–20.

- Kuivila, K.M., Hladik, M.L., Ingersoll, C.G., Kemble, N.E., Moran, P.W., Calhoun, D.L., Nowell, L.H. & Gilliom, R.J., 2012: Occurrence and potential sources of pyrethroid insecticides in stream sediments from seven U.S. metropolitan areas. *Environmental Science & Technology* 46, 4297–4303.
- McKnight, U.S., Rasmussen, J.J., Kronvang, B., Bjerg, P.L. & Binning, P.J., 2012: Integrated assessment of the impact of chemical stressors on surface water ecosystems. *Science of The Total Environment* 427–428, 319–331.
- McKnight, U.S., Rasmussen, J.J., Kronvang, B., Binning, P.J. & Bjerg, P.L., 2013: Pesticide occurrence in streams: legacy and implications of catchment land use. *Submitted to Environmental Science & Technology*.
- Warren, N., Allan, I.J., Carter, J.E., House, W.A. & Parker, A., 2003: Pesticides and other micro-organic contaminants in freshwater sedimentary environments—a review. *Applied Geochemistry* 18, 159–194.
- Whiteman, M., Brooks, A., Skinner, A. & Hulme, P., 2010: Determining significant damage to groundwater-dependent terrestrial ecosystems in England and Wales for use in implementation of the Water Framework Directive. *Ecological Engineering* 36, 1118–1125.

Akvifärkartläggning med flygburen geofysik: ett exempel från Vandel, Danmark

Alfredo Mendoza¹ & Ole Frits Nielsen²

¹ Geologi och grundvatten, Sweco Environment AB, Hans Michelsensgatan 2, Box 286, 201 22 Malmö

² Water and Geosciences, COWI A/S, Parallelvej 22800 Kongens Lyngby, Danmark

Inledning

Flygburna elektromagnetiska undersökningar används allt oftare för kartläggning av akvifärer för att kunna bedöma skyddsbehov och havsvatteninträngningens påverkan. I Danmark används den så kallade SkyTEM metoden, i vilken en helikopter utrustas med en sändare och mottagare som mäter markens elektromagnetiska fält (Sørensen & Auken 2004). Fördelen med metoden är att en stor area kan undersökas på kort tid och resultatet ger en översikt av markens elektromagnetiska egenskaper ner till ca 250 m. Flera kilometer kan mätas per dygn och resultaten kan med lätthet jämföras med resultaten från andra metoder samt sedan tidigare känd geologi. Metoden fungerar som en geofysisk screening av underytans geologi. SkyTEM metoden ger viktig bakgrundsinformation som kan användas för att bedöma grundvattenskyddsområdets avgränsning och grundvattenvårdsplaners framtagande.

Denna studie genomfördes inom ett område i södra Danmark och syftade till att få en övergripande kartläggning av områdets akvifärer. Resultaten låg till grund för bedömningen av grundvattenförekomsternas sårbarhet mot föroreningar och för framtagandet av en ny geologisk och hydrogeologisk modell.

Kartläggningen

Området ligger vid staden Vandel, omfattar en yta på ca 380 km² och innefattar fyra kommuner. Datainsam-

lingen genomfördes av SkyTEM Aps med en helikopter som flög längs 1 774 linjekilometer med ett flyglinjeavstånd på ca 200 m. Mätpunkterna som kallas på sonderingar utfördes var 25:e sekund. Flyghastigheten höll runt 45 km/t med en flyghöjd på mellan 25 och 45 m.

Efter datainsamlingen genomfördes en modellering för att tolka den elektriska resistiviteten ner till ca 220 m djup. Resultaten presenterades som flera resistivitetskarter på olika nivå- och djupintervall samt vertikala profiler som visar resistivitetsutbredningen på djupet.

Resultaten

Resultaten visar att det finns flera områden med potentiellt stora grundvattenmagasin inom det undersökta området. Dessa tolkades bestå av högresistiva sandlager av kvartärt och prekvartärt ursprung. Begravda dalar kunde urskiljas i kartläggningen. En del dessa var av hydrogeologisk betydelse och uppvisade hög resistivitet, vilket kan innebära att de är fyllda med sand. Andra dalar visade låg resistivitet (fig. 1).

Den nordvästra delen av området är täckt av högresistiva sandlager och de underliggande grundvattenförekomsterna är därför inte skyddade mot eventuell förorening som sker på markytan. Resultaten är i överensstämmelse med tidigare känd geologi och resultat från andra markgeofysiska metoder.

Konklusion

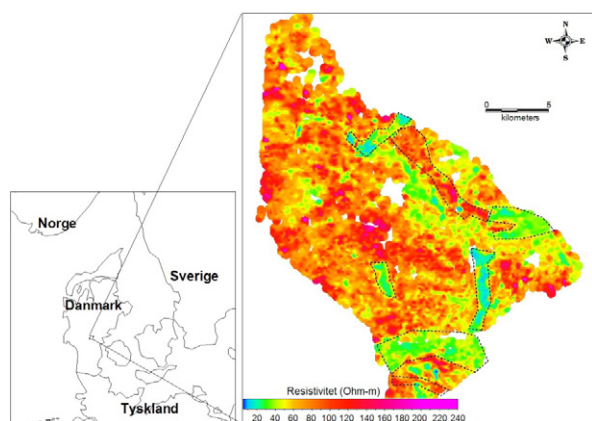
Resultaten från SkyTEM undersökningen vid Vandel har gett en generell kartläggning av geologin i området. Det var möjligt att kartlägga grundvattenförekomster med hög upplösning ner till 220 m. Liknande undersökningar kan även genomföras i Sverige som ett led i arbetet med att främja skyddet och öka kunskapen kring grundvattenförekomster.

Tack

Tack till Naturstyrelsen Ribe i Danmark för medgivandet att kunna presentera resultaten.

Referenser

Sørensen, K.I. & Auken E., 2004: SkyTEM-A new high-resolution helicopter transient electromagnetic system. *Exploration Geophysics* 35, 191–199.



Figur 1. Undersökningsområde. Resistivitetskarten visar tolkade dalar.

Hydrogeologisk modellering som verktyg för hushållning av grundvattentillgångarna på Kristianstadslätten

Erik Mårtensson¹ & Michael Dahlman²

¹ DHI Sverige AB, Södra Tullgatan 4, 211 40 Malmö

² C4 Teknik, Kristianstad kommun, Björkhemsvägen 15F, 291 80 Kristianstad

Kristianstadsslätten – en värdefull resurs

Kristianstadsslätten utgör ett av norra Europas största grundvattenmagasin. Tillgångarna är framför allt koncentrerade till den sedimentära berggrunden bestående av kalk- och sandstenar, men tillgångarna och uttagsmöjligheterna i is-älsavlagringar är också stora. Grundvattnet nyttjas främst av kommuner och industrier till vattenförsörjning men även i stor utsträckning av lantbrukare till bevattning.

Skydd och hushållning

Det föreligger i huvudsak två potentiella hot mot grundvattnet på Kristianstadsslätten: förorening och överutnyttjande. På den jordbruksintensiva slätten har förhöjda nitrathalter påträffats i både jordlagren och i den sedimentära berggrunden. Även spår av bekämpningsmedel har påträffats. Även om grundvatten är en förnybar resurs finns en övre uttagsgräns då negativa konsekvenser uppstår.

Hydrogeologisk modellering

Som ett led i förvaltningen av grundvattentillgångarna beslutade Kristianstad kommun i mitten på 1990-talet att etablera

en hydrogeologisk modell för Kristianstadsslätten med modellverktyget MIKE SHE. Upprättandet av modellen möjliggjorde simulering och kvantifiering av hydrologiska processer som inte tidigare var möjlig. Modellen har använts i ett antal olika studier där de senare syftat till att utreda huruvida det idag sker ett överutnyttjande av grundvattnet.

Frågan om den maximala uttagskapaciteten på Kristianstadsslätten har levt länge och blivit alltmer aktuell. Frågan är komplex då systemet är dynamiskt, och det är inte möjligt att relatera kapaciteten till dagens grundvattenbildning då ökade uttag ger direkta konsekvenser på ythydrologin.

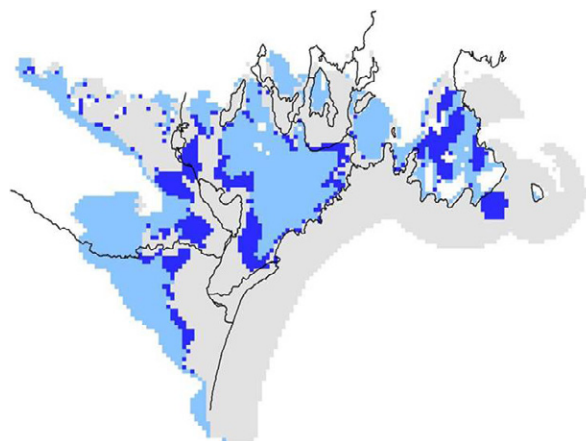
Genom modellberäkningar för olika uttagsscenarier har det varit möjligt att kvantifiera hur dagens uttag har påverkat de naturliga hydrologiska och hydrogeologiska förhållandena på slätten. I figur 1 visas ett resultatexempel på hur fördelningen mellan in- och utströmningsområden till den sedimentära berggrunden har förändrats mellan 1930- och 1980-talets situation. En ökning av andelen inströmningsområden kan ses på flera delar av slätten vilket medför en ökad risk för transport av oönskade ämnen till kalk- och sandstenen.

Framtiden

Idag råder det en osäkerhet kring hur stora framför allt bevattningsuttagen på slätten är. I takt med att vattendomsansökningar för uttag kommer in och beviljas kommer osäkerheten att minska gällande de totala uttagsmängderna. MIKE SHE-modellen utgör ett viktigt verktyg för att kvantifiera de långsiktiga konsekvenserna av dessa uttag.

Den hydrogeologiska modellen kan även utnyttjas vid studier av mer lokal karaktär genom att förbättra upplösning på indata och beräkningsnät för det aktuella området. En lokal delmodell kommer att användas för beräkningar rörande en planerad flytt av de centrala dricksvattenbrunnarna i Kristianstad då det föreligger i spridningsrisk från den närliggande Härlövsdeponin.

Sammanfattningsvis utgör MIKE SHE-modellen en hydrologisk och geologisk informationsbank med vilken det är möjligt se de långsiktiga konsekvenserna för att skapa ett hållbart nyttjande av grundvattenresurserna på Kristianstadsslätten.



Figur 1. Jämförelse av den sedimentära berggrundens inströmningsområden mellan 1930- och 1980-talet. Ljusblå områden visar inströmningsområden för 1930-talet och mörkblå områden visar utökningen för 1980-talet jämfört med 1930-talet. Grå områden visar utströmningsområden för 1980-talet.

Integrerad grund- och ytvattenmodellering med MIKE SHE – möjligheter och begränsningar

Erik Mårtensson¹ & Mona Sassner²

¹ DHI Sverige AB, Södra Tullgatan 4, 211 40 Malmö

² DHI Sverige AB, Svartmangatan 18, 111 29 Stockholm

MIKE SHE

MIKE SHE är ett hydrologiskt och hydrogeologiskt modellverktyg som beskriver hela markdelen av vattnets kretslopp. Den hydrologiska cykeln är ett slutet förlopp och MIKE SHE är ett modellverktyg där alla de viktiga hydrologiska processerna är integrerade. Beräkningsalgoritmerna i MIKE SHE baseras på fysikaliska lagar och inkluderar avduntningsprocesser, ytaavrinning samt flöde i både omättad och mättad zon. MIKE SHE är helt integrerat med modellverktyget MIKE 11 som är en endimensionell hydraulisk modell för beräkning av flöden och nivåer i vattendrag och sjöar (MIKE by DHI 2012).

Möjligheter

MIKE SHE är unikt såtillvida att det är det enda kommersiella modellverktyget där yt- och grundvatten är integrerat. Detta ger möjlighet att undersöka hur förändringar i den mättade zonen (t.ex. ändrade uttagsförhållanden, underjordiska byggnationer) inte bara påverkar grundvattentryck och grundvattenflöden utan även ythydrologin som t.ex. nivåer och flöden i vattendrag och sjöar. På motsvarande sätt kan grundvattenpåverkan till följd av ändrad markanvändning, igenläggning av diken, ändrat klimat etc. studeras.

Flexibiliteten i MIKE SHE gör det möjligt att anpassa tid- och rumsskalen efter frågeställningen. Tillämpningarna varierar därför från studier av storskaliga effekter som ändrade uttagsförhållanden på Kristianstadsslätten med en rumslig upplösning på hundratals meter och tidskalor i år, till småskaliga studier av återinfiltration i gölar och vattentäkter med en rumslig upplösning på ett fåtal meter och tidskala på timmar till dagar.

MIKE SHE har under de senaste 10 åren med framgång använts av Svensk Kärnbränslehantering (SKB) för att beskriva både hydrologin och den ytnära hydrogeologin, bland annat i samband med inlämnandet av ansökan om att få bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle. Ett flertal modeller har använts för att studera dagens förhållanden (Bosson m.fl. 2008) samt effekterna av djupförvaret på grund- och ytvattenförhållandena under de olika byggskedena (Mårtensson & Gustafsson 2010). Även specialstudier har gjorts för att studera effekterna av förvaret på våtmarker och skogsområden (Mårtensson m.fl. 2010). På basis av de kunskaper om området som finns idag, har även modeller för framtida förhållanden (5 000 e.Kr. och 10 000 e.Kr.) och klimat (bl.a. ett periglacialt) tagits fram (Bosson m.fl. 2010). Till MIKE SHE finns ett antal transportmoduler vilka möjliggör partikelspårnings- och AD-beräkningar (advektion–dispersion) som ex-

empelvis kan användas för att kartlägga tillrinningsområden till brunnar eller för spridningsberäkningar av diverse ämnen.

Koppling till andra modellverktyg

MIKE SHE kan kopplas till en rad andra modelleringsverktyg, exempelvis till MIKE URBAN för att beräkna tillskottsvatten till urbana ledningssystem samt inläckage till olika typer av tunnelsystem. Kopplingen har med framgång använts vid ett flertal stora infrastrukturprojekt som Projekt Hallandsås och Södertunneln i Helsingborg. Genom att koppla MIKE SHE till Ecolab kan ekologisk modellering av t.ex. närsalter och bekämpningsmedel genomföras.

Begränsningar

Trots den stora flexibiliteten i MIKE SHE så saknas det dock möjligheter för att t.ex. simulera densitetsdriven strömning, vilket kan vara en viktig faktor vid exempelvis saltvatteninträngning i kustnära områden. Inte heller kan geotermisk strömning beskrivas på ett adekvat sätt, även om man på ett förenklat sätt kan hantera det med AD-modulen. Ett modellverktyg som dock klarar av båda dessa processer är FEFLOW. Ett arbete pågår dessutom med att koppla ihop FEFLOW med MIKE SHE.

Referenser

- Bosson, E., Gustafsson, L.-G. & Sassner, M., 2008: Numerical modeling of surface hydrology and near-surface hydrogeology at Forsmark, site descriptive modeling, SDM-site Forsmark. *SKB R-08-09, Svensk Kärnbränslehantering AB*.
- Bosson, E., Sassner, M., Sabel, U. & Gustafsson, L.-G., 2010: Modeling of present and future hydrology and solute transport at Forsmark, SR-Site Biosphere. *SKB R-10-02, Svensk Kärnbränslehantering AB*.
- MIKE by DHI, 2012: *MIKE SHE – user manual*. DHI, Agern Allé 5, 2970 Hörsholm, Danmark.
- Mårtensson, E. & Gustafsson, L.-G., 2010: Hydrological and hydrogeological effects of an open repository in Forsmark. Final MIKE SHE flow modelling results for the Environmental Impact Assessment. *SKB R-10-18, Svensk Kärnbränslehantering AB*.
- Mårtensson, E., Gustafsson, L.-G., Gustafsson, A.-M., Aneljung, M. & Sabel, U., 2010: Hydrologiska och hydrogeologiska effekter på våtmarker och skogsområden av slutförvarsanläggningen i Forsmark, Resultat från modellering med MIKE SHE. *SKB R-10-19, Svensk Kärnbränslehantering AB*.

Grundvattenundersökningar med transient elektromagnetisk sondering i Skåne

Philip Nilsson¹, Torleif Dahlin¹, Per-Gunnar Alm¹ & Peter Dahlgqvist²

¹ Teknisk geologi, Lunds Universitet, Box 118, 221 00 Lund

² Sveriges geologiska undersökning, Kiliansgatan 10, 223 53 Lund

Transient elektromagnetisk sondering (TEM) har använts med syfte att kartlägga akviferer i begrävda dalar, svaghetszoner i berg samt karstområden. Det presenterade projektet har även haft som mål att undersöka metodens tillämpbarhet vid undersökningar i Skåne.

Totalt genomfördes 9 profiler innefattande 66 individuella sonderingar med ett instrument av typ ABEM WalkTEM. De utförda profilerna har haft en längd varierande mellan 1 000 och 2 100 m. Fem profiler genomfördes i Skånes inland mellan urbergshorstarna Romeleåsen och Linderödsåsen. Dessa har visat på goda resultat både gällande datakvalitet och förväntningar på geologi. Det finns indikationer på att flera akviferer i berggrunden upptäckts.

Figur 1 kan ses som ett exempel på ett område där goda resultat erhöles. I figuren finns ett område av stort intresse. Det rör sig om det andra lagret mellan sonderingarna 4 och 8. Detta indikerar ett lager med låg resistivitet och en mäktighet uppemot 100 m. Området skulle kunna utgöra en större akvifer i det sedimentära berget (Nilsson 2013).

Sonderingar som genomfördes vid kusten i området kring Åhus gav inte resultat av lika god kvalitet. Dessa data visade på stora standardavvikelser vid den inversa numeriska modelleringen som genomfördes. Resultaten visar en relativt hög resistivitet i berggrunden. Metoden är dålig på att upplösa detta och därav blir datasäkerheten lägre. Detta kan bero på en mer eller mindre homogen sedimentär berggrund. Det kan också bero på en lägre grad av vittring eller högre konsolidering.

Metoden fungerar väl på vissa platser i Skåne, främst i områden där den sedimentära berggrunden kan förväntas uppvisa en högre halt av ler- eller siltpartiklar. Alternativt där vittringsprocesserna är mer långt gångna och en större mängd lermaterial finns närvarande i sprickzonerna.

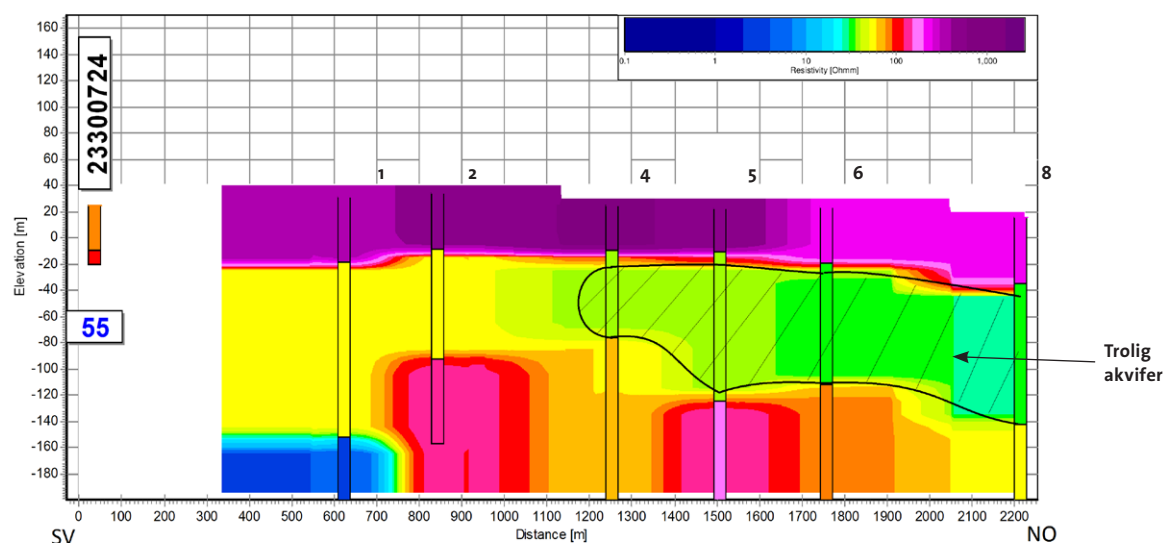
Metoden bör i vissa fall kompletteras med andra geofysiska metoder såsom galvanisk resistivitetsmätning (ERT, CVES) för att kunna erhålla information om de övre jordlagrens sammansättning, detta då det i de här utförda sonderingarna saknas information gällande de översta 40 metrarna. Att det saknas information i dessa lager beror främst av att de på de undersökta lokalerna huvudsakligen utgörs av sand, grus som har hög resistivitet och därmed blir i princip "osynliga" för TEM-metoden. Detta hade inte varit fallet om de varit mera konduktiva.

Tack

Detta projekt har genomförts som ett examensarbete vid Teknisk geologi, LTH/Lunds universitet. Det hade inte gått att genomföra utan stöd från Hydrogeophysics Group vid Århus Universitet, SkyTEM Surveys ApS samt ABEM Instrument AB.

Referenser

Nilsson, P., 2013. *Grundvattenundersökningar i Skåne, Transient Elektromagnetisk Sondering*. Examensarbete, Teknisk geologi, Lunds universitet (under arbete).



Figur 1. Resistivitetsmodell för profil genomförd mellan Krankesjön och Vombsjön, området mellan sondering 4 och sondering 8 indikerar att det bör finnas en större akvifer i det andra lagret. Den översta linjen mellan sonderingspunkterna indikerar penetrationsdjupet för sonderingarna där datasäkerheten anses vara hög. Mellan de två linjerna bör försiktighet antas vid tolkning samt under den nedersta linjen bör tolkning av information ej ske.

Relativ värdering av grundvattentillgångar

Jakob Nisell^{1*}, Magdalena Thorsbrink¹, Peter Dahlqvist² & Björn Holgersson¹

¹ Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala, *E-post: jakob.nisell@sgu.se

² Sveriges geologiska undersökning, Kiliansgatan 10, 223 53 Lund

Grunder för värderingen

Sveriges geologiska undersökning har i ett projekt sammanställt information om grundvattentillgångar i Sverige och har tagit fram en metod för att utvärdera grundvattenförekomsternas relativa värde utifrån sex kriterier: uttagsmöjlighet, möjlighet till konstgjord infiltration, kvalitet, påverkan, sårbarhet och behov. Hela landet har klassats med en värdering mellan 0 och 100 för de sex ingående parametrarna samt före en avvägd sammanslagning i flera steg. Beräkningsstegen från indata till samlad bedömning görs i ett antal script i ArcGis. Resultatfiler är rasterskikt med nationell eller, om man vill, regional täckning.

Värderingen kan bli ett värdefullt underlag för vattenresursplanering och nationella eller regionala resursinventeringar. Värderingen ger inga absoluta värden på grundvattenförekomster utan väger istället olika områden mot varandra.

Ingående parametrar

Underlaget är framtaget från olika databaser inom och utanför SGU. GIS-data i form av raster har sammanställts för att enklare kunna hantera en Sverigetäckande värdering som inte bara hanterar idag kända förekomster utan tar med allt grundvatten. De ingående parametrarna kan ses som dimensioner i en samlad bedömning. Parametrarna är följande:

Infiltration

Bedömningen utgår från tillgängligt ytvatten och beräknade flöden i dessa i anslutning till kända grundvattenmagasin och tillgängliga infiltrationsytor ovanpå magasinerna.

Uttagsmöjligheter

Bedömningen utgår från SGUs data kring mätta eller uppskattade uttagsmängder i magasin i berg och isälvsavlagringar samt, där inte sådana data finns, från jorddjup, jordart och klimat.

Kvalitet

Kvaliteten utgår från kemidata i SGUs vattentäcksarkiv, brunnarsarkivet och miljöövervakningsbrunnar. Antalet anmärkningar har använts som mått på kvalitet.

Sårbarhet

Sårbarheten har bedömts utifrån en sårbarhetsklass baserad på jordart. Ju högre genomsläpplighet för jordarten desto större sårbarhet som leder till ett lägre värde.

Påverkan

Påverkan bedöms utifrån en poängsättning på vägtrafik, vägsalt från vägverket, punktkällor från SCB och markanvändning från marktäckedata från Lantmäteriet.

Behov

Behovet av dricksvatten styrs av antalet invånare. Befolkningsdata i form av polygoner för tätort, mindre samhällen samt fritidsboende har använts. För tätorter har befolkningsbilderna buffrats med en radie som är direkt proportionell mot antalet invånare. Tanken är att ett större samhälle har ekonomiska resurser att anlägga vattentäkter längre ifrån samhället.

Sammanvägning av parametrarna

Parametrarna vägs ihop i par och en viktning görs mellan varje par. Resultatet av varje viktat par kan användas som en egen parameter:

- infiltration + uttagsmöjligheter → kvantitet,
- kvalitet + kvantitet → egenskap,
- sårbarhet + påverkan → risk,
- egenskap + risk → förutsättningar,
- förutsättningar + behov → sammanlagt värde.

Beroende på hur viktiga man anser att de olika parameterparen är gentemot varandra multipliceras parametern med en vikt.

Kalibrering

En applikation i ArcGIS har tagits fram för att kalibrera de vikter som beskrivits i stycket ovan. Resultatet har jämförts med allmänna uppfattningar hos olika experter. Modellen gör det möjligt att laborera med olika vikter och se resultatet både som ett heltäckande raster och som ett medelvärde för polygoner för de kända grundvattenmagasinerna. Arbetet med kalibreringen pågår fortfarande.

Slutsats

Varje parameter kan vara värdefull i sig eftersom dessa på ett lättfattligt sätt sammanfattar den information som finns tillgänglig om grundvattnet i Sverige. Sammanslagningen av parametrarna som styr värdet kan göras i flera steg och med olika viktning för användning i olika syften. Det kan finnas många aspekter kring varför en grundvattenförekomst ska värderas högre än andra. En samlad bedömning i en sådan här modell kan aldrig ge ett slutgiltigt svar kring hur olika förekomster ska prioriteras men kan vara del i ett discussionsunderlag och kan ge en samlad bild av de olika dimensionerna av värdet.

Begreppet konnektivitet – hur strömmar grundvattnet egentligen?

Rune Nordqvist

Geosigma AB, Box 894, 751 08 Uppsala, rune.nordqvist@geosigma.se

Att beskriva hur grundvattnet strömmar är förstås en central fråga inom hydrogeologin. Vanligen är det inga större svårigheter att, utifrån vanligt förekommande hydrogeologisk information om ett undersökt objekt, i generella termer beskriva strömningsriktningar, flödets storlek och vattnets hastighet. I många sammanhang skulle det dock vara önskvärt med större noggrannhet och detaljeringsgrad i beskrivningen av hur grundvattnet strömmar inom ett undersökt område. Exempel på detta är då det är viktigt att veta exakt vart en infiltrerad volym vatten tar vägen, för att bestämma uppehållstider och flöden till vattentäkter vid konstgjord eller inducerad infiltration, vid bedömning av verkningsgrad av in situ-sanering av grundvatten, eller vid kvantifiering av masstransport av föroreningar med grundvattnet.

Anledningen till att det ofta är svårt att med större noggrannhet och i större detalj karaktärisera strömningsförhållanden bottnar i att det geologiska materialet är ojämnt fördelat, det uppvisar med andra ord hög rumslig variabilitet. Det finns sedan flera årtionden en medvetenhet om att vattenförande jordlager uppvisar mer eller mindre stor rumslig variabilitet med avseende på fysikaliska egenskaper med betydelse för grundvattenflöde och föroreningstransport.

Det bedrivs också sedan årtionden mycket forskning ägnad åt att ta fram metoder för att karaktärisera heterogenitet och för att simulera framför allt föroreningstransport i heterogena medier. Sådana metoder baseras dock ofta på förenklade statistiska antaganden som kanske inte fullt ut beskriver konnektiviteten i ett grundvattensystem. Det senaste årtiondet har fokus övergått allt mer på konnektivitet. Därmed har det också dykt upp allt fler studier som handlar om samband mellan flödes- och transportparametrar från hydrogeologiska fältundersökningar. Dessa studier lyfter fram det faktum att det är skillnad på fortplantning av tryck

och på vattentransport, t.ex. behöver en snabb hydraulisk respons i ett observationsrör inte vara korrelerad med en kort medeluppehållstid för t.ex. en förorening. Vidare kan man konstatera att en tydlig hydraulisk respons i ett observationsrör på en pumpning eller infiltration inte ger tillräcklig information för att avgöra om det faktiskt strömmar grundvatten från den ena punkten till den andra.

Insikten om att en tillräckligt detaljerad och noggrann beskrivning av grundvattenströmning för en specifik tillämpning kan vara svår åstadkomma med vanliga hydrogeologiska fältundersökningar och hydrogeologisk modellering leder till frågan vad man kan göra? Noggrant planerade provpumpningar med många observationspunkter kan med relevant analysmetodik ge åtminstone en ungefärlig uppfattning om transportkonnektivitet. Den mest direkta metoden att följa en viss vattenvolym är att tillsätta spårämnen och därefter följa hur dessa uppträder i grundvattensystemet. Bland praktiska exempel på när spårämnesförsök varit den enda praktiska metoden för att karaktärisera konnektivitet kan nämnas bestämning av strömningsriktning av infiltrerat dagvatten nära en topografisk vattendelare. I detta fall injicerades ett spårämne i en djupvattenbrunn för infiltrerat dagvatten. Spårämnet följdes under några månaders tid i grundvattenrör, vilket gav en entydig bild av på vilken sida av vattendelaren som infiltrationsvattnet följer och därmed också vilken recipient som slutligen står som mottagare. Ett annat exempel är djupinfiltration av spårämne i en stor is-älvslavlagring där det infiltrerade vattnets flödesvägar följdes under lång tid i ett stort antal observationspunkter. Som ett tredje exempel är in situ-mätning av grundvattenflöde längs en tvärprofil nedströms en föroreningskälla. Detta tillsammans med uppmätta föroreningshalter möjliggjorde en direkt skattning av den totala masstransporten med grundvattnet.

Samarbetskommittén för Alnarpsströmmen – kartläggning och uppföljning av en större grundvattenförekomst

För Samarbetskommittén för Alnarpsströmmen, Anne-Marie Pedersen¹ & Bo Leander²

¹Svedala kommun, Kommunhuset, 233 80 Svedala

²Sweco Environmental AB, Hans Michelsensgatan 2, Box 286, 201 22 Malmö

Bakgrund Samarbetskommittén

I förindustriell tid försörjdes sydvästra Skåne, liksom stora delar av Sverige, med dricksvatten från grävda brunnar eller från ytvattensystem. Under slutet av 1800-talet räckte inte ytvattenförsörjningen till för den ökande befolkningen i Malmö. En grundvattenanläggning anlades i Alnarpsströmmen, som är en akvifär belägen sydväst om Romeleåsen i och kring Alnarpsdalen och med avrinning mot Öresund. Den första anläggningen i Grevie togs i drift 1901.

Att utnyttja Alnarpsströmmen spreds till närliggande kommuner och industrier vilket medförde att uttagen ökade.

Då äldre utredningar väckte farhågor om att grundvatten-tillgången var begränsad begärde dåvarande Vattendomstolen av huvudmännen som begärt lagligförklarande av sina räkter nära Öresundskusten att de först skulle klarlägga Alnarpsströmmens kapacitet och föreslå ett lämpligt sätt att fördela vattenuttagen. Som följd av detta bildades 1964 Samarbetskommittén för Alnarpsströmmen. Verksamhetsområdet framgår av figur 1.

Utredningar

Kommitténs första uppgift var att ta fram och sammanställa all kunskap om Alnarpsströmmen.

Under alla år har det insamlats data om grundvattentryck och uttag. Data visar att grundvattentrycket minskade efter hand om grundvattenuttagen ökade och att detta i sin tur ledde till ökad grundvattenbildning. Grundvattenuttag och exempel på trycknivåer framgår av figur 2 respektive 3.

För att följa förväntad saltvatteninträngning anlades i början av 1970-talet åtta brunnar för vattenprovtagning i Habo Ljung, nära Öresund. Några av dessa brunnar var 150 m djupa.

För att underöka påverkan av saltvatteninträngning från havet eller uppdragning av salt relikvatten från underliggande grundvatten har ett fyrtiotal dricksvattenbrunnar runt

om verksamhetsområdet ingått i ett jonanalysprogram som följts under alla åren.

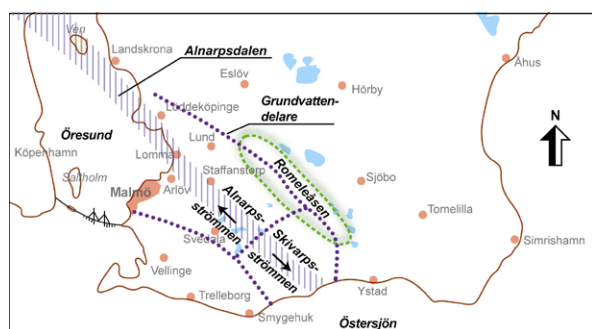
En riskfaktor för en dricksvattentäkt är förekomst av bekämpningsmedelsrester. Flera undersökningar har genomförts för att klarlägga situationen i grundvattnet.

Alla resultaten från de olika undersökningar som gjorts och görs utnyttjas av de 10 medlemmarna i kommittén och av tillsynsmyndigheterna. Kommittén disponerar även en matematisk modell över hela sydvästra Skåne med förtätning inom Alnarpsströmmen vilken kan användas av medlemmarna.

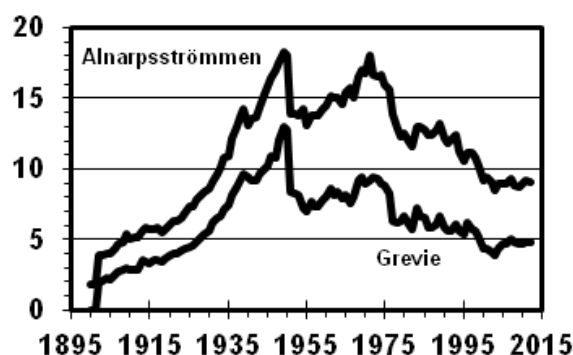
Framtiden

Uttagen ur Alnarpsströmmen har minskat succesivt när kommunerna i stor utsträckning övergått till att få sin dricksvattenförsörjning från ett större system med vatten från Vombsjön och eller Bolmen.

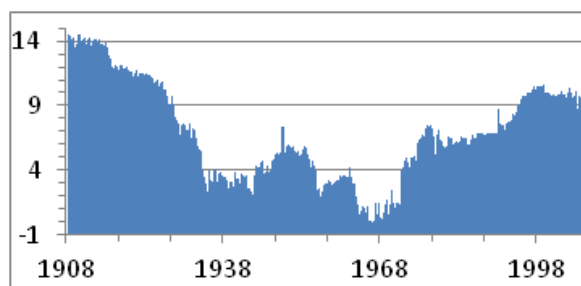
Då många av medlemskommunerna inte längre har egna grundvattenuttag har förutsättningarna för kommitténs arbete förändrats. Ändrad lagstiftning och nya bestämmelser, bl.a. vattendirektivet, ställer större krav på vattenförekomster, alltså även på grundvattnet. Kommande krav på kontroll av miljö och kvalitet i grundvattnet motiverar att kommittén fortsätter arbetet i den ombildade form som nu är på förslag.



Figur 1. Alnarpsströmmen. Översiktskarta.



Figur 2. Grundvattenuttag, M (m³)/år, ur Alnarpsströmmen och Malmös takt i Grevie.



Figur 3. Grundvattentryck, m, i observationsbrunn i Djurslöv.

“Clogging layer” at regulated river beds – implications for river-groundwater exchange

Dmytro Siergieiev, Angela Lundberg, Anders Widerlund & Björn Öhlander

Department of Civil, Environmental and Natural resources engineering, Luleå University of Technology, SE-971 87 Luleå, Sweden

Background

Within the EU-project GENESIS (2013), aiming to provide scientific basis and technical guidance for the update of the EU Groundwater Directive, Luleå University of Technology is investigating possible effects of hydropower regulation on surface water–groundwater exchange. The study compares surface water, groundwater and hyporheic processes for the unregulated Kalix River and the regulated Lule River. Hydropower has long been regarded a fairly green energy source but today negative effects have become obvious (Renöfält et al. 2010).

The hyporheic zone accommodates most of the surface water–groundwater exchange of solutes just beneath and along a river, dampens heat fluxes, processes pollutants and is essential for ecosystems.

Case study

The study observes surface water and groundwater (in wells orthogonal to the river) at one site in each river. In these, hydrological (water level, hydraulic conductivity, tracer test) and geochemical (temperature, electrical conductivity, water and soil chemistry) measurements were performed during several seasons.

Formation of clogging layer

The presence of natural high-flow events in the Kalix River removes fines from the river bed, maintaining good surface water–groundwater connectivity that favours hyporheic exchange (Brunke & Gonser 1997). Altered discharge of the regulated river (reduced flow peaks and velocity, daily discharge fluctuations) facilitated deposition of fine sediments at the river bed forming a “clogging layer” (Blaschke et al. 2003). The bed in the regulated river has two orders of magnitude lower hydraulic conductivity than that at the unregulated site and restricts the surface water–groundwater exchange (Fig. 1).

Consequences of reduced exchange

Reduced hydraulic connectivity between surface water and groundwater at the regulated Lule River site suggests decreased fluxes across the river–aquifer interface (Siergieiev et al. 2013), and thus reduced size of the hyporheic zone which is not always the case in regulated rivers (Sawyer et al. 2009).

Decreased hyporheic velocities led to increased residence time and favored prolonged contact between water and soil matrix that stimulated biogeochemical transformations. As a result, the electrical conductivity of hyporheic water of the Lule River was higher than that of the surrounding water.



Figure 1. Typical examples of river beds in Kalix (left) and Lule Rivers (right).

Deteriorated connectivity and extended travel time reduced the dissolved oxygen concentration, which is functionally ecologically essential for hyporheic habitat. In addition, complete consumption of nitrate found at the regulated site suggests formation of a suboxic zone extending several metres inland which promotes metals release reflected in high dissolved Fe and Mn in the hyporheic zone. The conditions of surface water–groundwater exchange control nutrients processing and their export to surface water. Thus, the hyporheic zone in the Lule River acts as a source of dissolved metals, while in the Kalix River much of the metals are removed by hyporheic processes due to good surface water–groundwater connectivity.

Conclusions

Surface water–groundwater connectivity plays an important role for hyporheic exchange and hyporheic water quality. Hydropower regulation in the Lule River has altered this connectivity, which may have far reaching implications for biogeochemical processes in the river.

Acknowledgements

The study is funded by EU FP7, Formas and the Kempe foundation.

References

- Blaschke, A.P., Steiner, K.H., Schmalfuss, R., Gutknecht, D. & Sengschmitt, D., 2003: Clogging processes in hyporheic interstices of an impounded river, the Danube at Vienna, Austria. *International Review of Hydrobiology* 88, 397–413.
- Brunke, M. & Gonser, T., 1997: The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. *Freshwater Biology* 37, 1–33.
- GENESIS, 2013: *Groundwater and dependent ecosystems: new scientific and technological basis for assessing climate change and land-use impacts on groundwater*. <<http://www.the-genesis-project.eu>> Accessed 20-09-2013.

- Renöfält, B., Jansson, R. & Nilsson, C., 2010: Effects of hydropower generation and opportunities for environmental flow management in Swedish riverine ecosystems. *Freshwater Biology* 55, 49–67.
- Sawyer, A.H., Cardenas, B., Bomar, M. & Mackey, M., 2009: Impact of dam operations on hyporheic exchange in the riparian zone of a regulated river. *Hydrol. Proc.* 23, 2129–2137.
- Siergieiev, D., Lundberg, A. & Widerlund, A., 2013: Hyporheic water exchange in a large hydropower-regulated boreal river – directions and rates. *Hydrology Research* doi:10.2166/nh.2013.011.

Geoelectrical imaging for site investigation of urban underground infrastructure – a TRUST-project

Charlotte Sparrenbom¹, Torleif Dahlin², Håkan Rosqvist¹, Mats Svensson³, Esben Auken⁴, Mehrdad Bastani⁵ & Jonas Moberg⁶

¹ Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund

² Teknisk geologi, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Box 118, 221 00 Lund

³ Tyréns, Isbergs gata 15, 205 19 Malmö

⁴ Department of Geoscience – Geology, C.F. Møllers Allé, Building 1120, 8000 Aarhus C, Denmark

⁵ Geological Survey of Sweden, Box 670, 751 28 Uppsala

⁶ ABEM Instrument AB, Löfströms allé 11, 172 66 Sundbyberg

Unforeseen ground conditions are risk factors often leading to delays and significant additional costs in conjunction with underground infrastructure construction work. There are two main geological hazards that are important to identify, manage, or possibly avoid, for safe and efficient underground construction. The first is unstable rock and the second is large groundwater inflow. The latter exists in most underground projects. Other problems are related to human activities such as waste deposits, industrial activities, handling of chemicals and underground activities such as mining and pumping of water. On old landfills and industrial sites, the market value of real estate often increases as cities expand leading to an interest in development. These old and often abandoned areas (former chemical industry, gasworks, impregnation plants, chemical cleaning etc.) are often associated with highly contaminated soil and soil water.

In order to handle these risks, first-rate knowledge of structural data, bedrock and soil geology, geotechnical conditions, joints, fault zones, as well as nearby underground facilities, ground- and surface water is needed. Furthermore, damage on buildings and infrastructure may occur due to subsidence or change in natural geochemical conditions. Incomplete investigations lead to a negative impact on human health and the environment (HHE) as well as increased societal costs, whereas carefully designed and relevant site investigation can reduce the risk of both HHE, technical problems and project costs. One of the main problems at these urban sites is that the underground is very difficult to map due to its complex heterogeneous character.

Underground construction commonly affects groundwater levels, which can change the geochemical conditions in the groundwater as well as activate contaminant transport. Changes in groundwater characteristics (e.g. groundwater level) may for example cause changes in redox conditions and lead to unpredictable mobilisation of hazardous chemicals. Furthermore, changes in groundwater conditions may enhance gas production from organic waste leading to an increased risk for explosion, fire and health problems. There is thus a need to develop methods for mapping and characterising groundwater conditions prior to underground construction at landfills and contaminated sites.

It has been demonstrated that the geophysical method resistivity-induced polarisation (DCIP) is a powerful tool for lithotype characterisation and for delineating the extent of buried waste (e.g. Dahlin et al. 2010, Rosqvist et al. 2011, Gazoty

et al. 2012). Furthermore, DCIP has also shown potential in characterising waste in terms of type of material and in tracing migration of fluids, contaminants and gas in the ground. Figure 1 shows the results from the Filborna landfill in Helsingborg.

In this TRUST¹-project we aim to investigate possible correlations between DCIP imaging techniques and engineering and environmental key parameters, e.g. soil conditions, tectonic structures, waste as well as water and contaminant occurrence and transport thereof.

The project also includes development, test and evaluation of new data acquisition methodology, instrumentation and noise filtering techniques. Furthermore it includes development of 3D inversion of DCIP data. Measurement tests will be done both in the field and at microscale within the laboratory. The field measurements will be carried out in the “noisy” and complex urban environments. The focus within the laboratory is to understand the causal relationship between the recorded geophysical signal and its geochemical–biological and physical structure. Sites with both concerns on HHE and rock quality or complex geology will be investigated. Possible test sites we consider are the old dry-cleaning facility “Färgaren” in Kristianstad and the planned “Förbifart Stockholm area”. During the conference we will possibly present some first results and the plans and the status of the project as well as the larger TRUST project organisation.

Acknowledgements

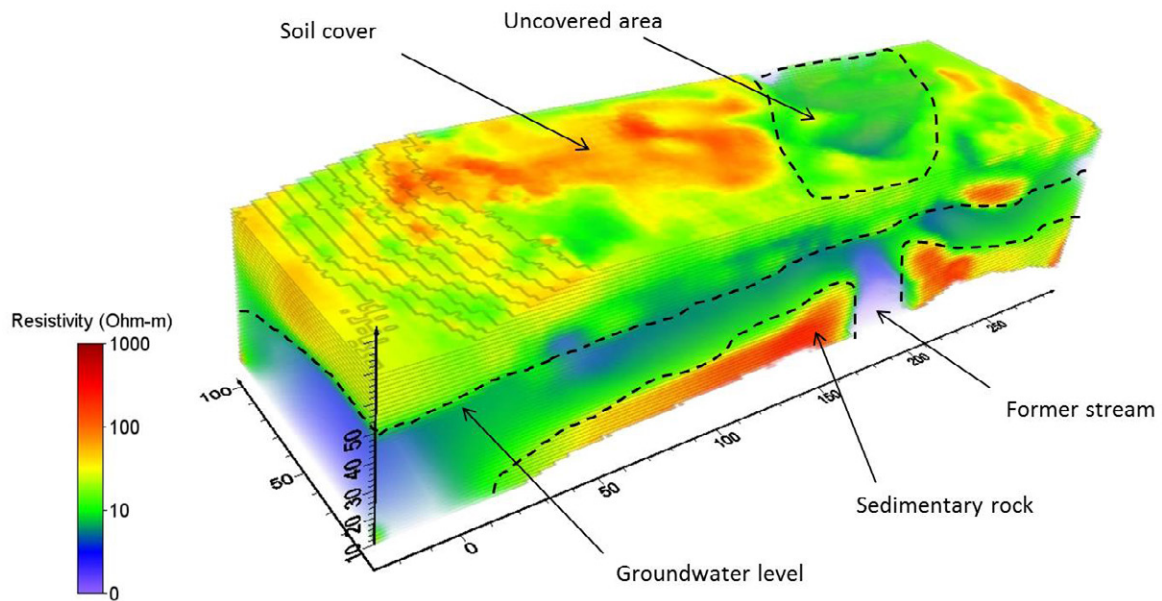
The project is funded by Formas-Geoinfra, BeFo, SBUF, Tyréns Stiftelse, SGU and ABEM Instrument AB.

References

- Dahlin, T., Rosqvist, H. & Leroux, V., 2010: Resistivity-IP for landfill applications. *First Break* 28, 101–105.
- Gazoty A., Fiandaca G., Pedersen J., Auken E. & Christiansen A.V., 2012: Application of time domain induced polarization to the mapping of lithotypes in a landfill site. *Hydrology and Earth System Sciences* 16, 1793–1804.
- Rosqvist, H., Leroux, V., Dahlin, T., Svensson, M., Lindsjö, M., Månsson, C-H. & Johansson, S., 2011. Mapping landfill gas migration using resistivity monitoring. *Waste and Resource Management* 164, 3–15.

¹ TRUST (Transparent Underground Structures) is a cooperation framework coordinating activities between a number of projects involving several universities, authorities and industry (www.TRUST-Geoinfra.se).

A



B

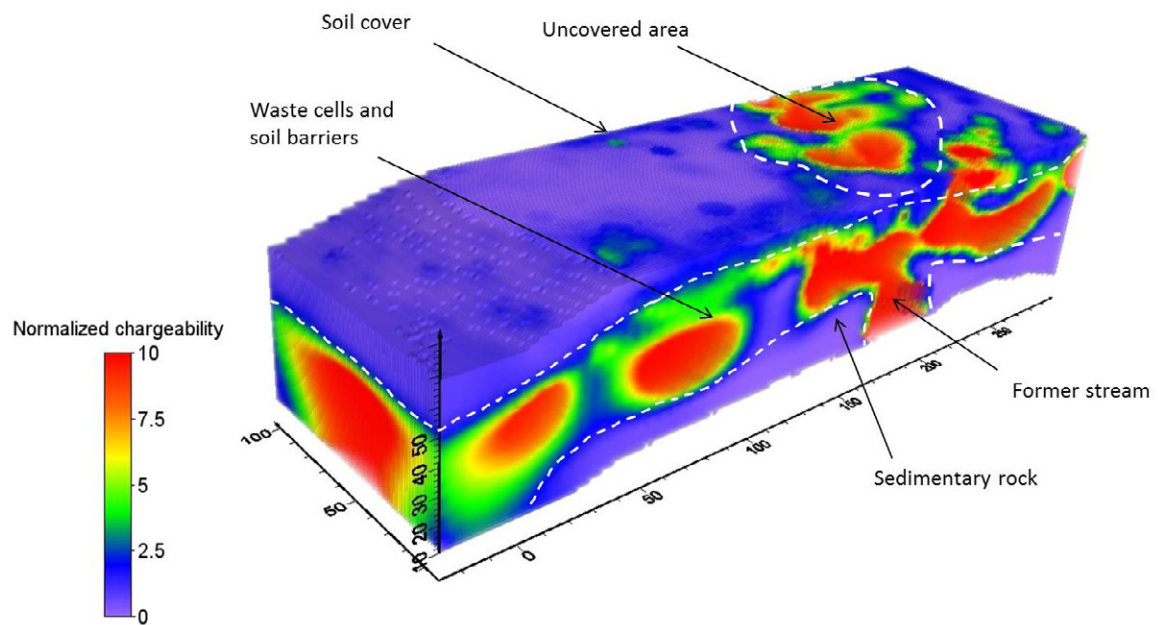


Figure 1. Example result from the MaLaGa-project (www.malagageophysics.com). Large scale models from the Filborna landfill site, Helsingborg, Sweden, based on a) resistivity data and b) combined resistivity and IP data.

Grundvatten i ett förändrat klimat

Gustav Sundén* & Bo Thunholm

Sveriges geologiska undersökning, Villavägen 18, 751 28, Uppsala, *gustav.sunden@sgu.se

Ett förändrat klimat ger förändrade hydrologiska förutsättningar. Enligt klimatscenarier som tagits fram innebär det ökade framtida nederbördsmängder i större delen av landet. I sydöstra Sverige, som redan idag är det torraste området, kommer dock nederbördsmängden att minska. Det innebär ökad årlig avrinning och grundvattenbildning i större delen av landet med undantag av den sydöstra delen.

SGU har i två projekt (Sundén m.fl. 2010, Aastrup m.fl. 2012) studerat hur grundvattnet kan komma att påverkas i ett förändrat klimat. I det första projektet gjordes, analyserades och utvärderades klimatförändringarnas påverkan på grundvattennivåernas läge och variation under året där drivdata var olika klimatscenarier. I det andra projektet utvärderades hur grundvattenkemin kan komma att förändras i ett förändrat klimat. Detta gjordes genom att beräkna samband mellan uppmätta data för grundvattnets nivå och olika kemiska parametrar i olika jordarter.

I båda projekten användes den s.k. GRV-modellen. Den är en vidareutveckling av HBV-modellen (Bergström 1976, Lindström m.fl. 1997) som beskrivs av Rodhe m.fl. (2006, 2008, 2009). Drivdata till modellen är dagliga temperatur- och nederbördsdata. Som drivdata för framtida grundvattennivåer används resultaten från tio klimatscenarier framtagna inom EU.

Beräkningarna av hur grundvattennivåerna kan komma att påverkas i ett framtida klimat, visar på att perioden med störst grundvattenbildning i samband med snösmältningen hamnar tidigare på året. I mellersta Sverige innebär det att grundvattennivåerna når sin högsta nivå i början av april istället för i början av maj. Det innebär att perioden då ingen eller mycket liten grundvattenbildning sker blir betydligt längre. Tillgängligt vatten i våra grundvattenmagasin måste därmed räcka under en längre period. Resultaten från data i SGUs grundvattennät uppvisar ett liknande mönster som beräkningarna med GRV-modellen. Grundvattennivåernas regimer vid flertalet observationsrör har i allmänhet förändrats sedan mätningarna påbörjades i slutet av 1960-talet.

I det andra projektet där klimatförändringarnas inverkan på kemiska parametrar studerades, visade det sig att

sambandet mellan grundvattenkemi och grundvattennivåer skilde sig markant åt mellan grundvattenmagasin som utgörs av morän och magasin som utgörs av sand och grus. Grundvatten i morän uppvisade signifikanta samband för de flesta kemiska parametrar medan grundvatten i sand och grus uppvisade signifikanta samband för ett fåtal parametrar. Förändringar i framtida grundvattennivåer bedöms därför främst påverka kemin i grundvattnet i morän. Den främsta orsaken bedöms vara både utspädning och grundvattnets kontakt med det organiska materialet nära markytan.

Referenser

- Aastrup, M., Thunholm B. & Sundén G., 2012: Klimatets påverkan på koncentrationer av kemiska ämnen i grundvatten. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2012:27*.
- Bergström, S., 1976: Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. *SMHI Reports RHO, No. 7*.
- Lindström G., Johansson B., Persson M., Gardelin M. & Bergström S., 1997: Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model. *Journal of Hydrology* 201, 272–288.
- Rodhe A., Lindström G., Rosberg J. & Pers C., 2006: Grundvattenbildning i svenska typjordar – översiktlig beräkning av vattenbalansmodell. *Uppsala University, Dep. Earth Science, Hydrology Report Series A No 66*.
- Rodhe A., Lindström G. & Dahné J., 2008: Grundvattenbildning i svenska typjordar – metodutveckling av en vattenbalansmodell. *Uppsala Univ. Dep. Earth Sciences, Hydrology Report Series A No 71*.
- Rodhe A., Lindström G. & Dahné J., 2009: Grundvattennivåer i ett förändrat klimat. *Sveriges geologiska undersökning, Slutrapport FoU-projekt*.
- Sundén G., Maxe L. & Dahné J., 2010: Grundvattennivåer och vattenförsörjning vid ett förändrat klimat. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2010:12*.

Hälsosäkert grundvatten i ett förändrat klimat

Bertil Sundlöf

Tyréns AB, Box 27, 291 21 Kristianstad, bertil.sundlof@tyrens.se

Klimatförändringarnas påverkan vid vattentäkter med inducerad infiltration – vilka risker finns för grundvattnets kvalitet när nederbörden ökar, ytvatten förändras och nivåerna stiger?

Allt fler kommuner väljer, eller överväger, att gå från ytvatten till grundvatten som råvatten i sin vattenförsörjning. Skälen för att byta till grundvatten är ofta att man vill ha en långsiktigt större säkerhet, mot bl.a. klimatbetingade förändringar, samt ett bättre, mer lättbehandlat råvatten (mindre kemikalier och process).

En mycket stor andel av de kommunala grundvattenuttagen görs dock i dagsläget i nära anslutning till en sjö eller ett vattendrag. Förutom de ca 50 % av de kommunala grundvattentäkterna som utgörs av täkter med förstärkt infiltration av ytvatten så kan man anta att en stor andel av de övriga grundvattentäkterna tillgodogör sig ytvatten via brunnar som ligger placerade nära en å- eller sjöstrand. Ytvattens framtida kvalitets- och nivåförändringar kan därför också antas ha stor betydelse för en stor andel av våra grundvattentäkter.

De risker eller problem som kan tänkas uppstå vid brunnar med strandinfiltration är att höga ytvattennivåer medför kortslutningar mellan yt- och grundvatten, vilket lätt kan leda till virus- och bakterietransport och transport av organiskt material generellt, vilket i sin tur leder till syrebrist och förhöjda metallhalter. Generella problem som kan uppstå både vid täkter med konstjord infiltration och vid täkter med strandinfiltration är hanteringen och anpassningen av

behandlingen med tanke på de trendmässigt allt brunare vatten som tycks förkomma. Med högre temperaturer ökar också riskerna för algtoxiner och virus där grundvattenverken i vissa fall inte har tillräckliga barriärer. Idag finns teorier och antaganden om hur grundvattenkvaliteten kan komma att påverkas av klimatförändringar vid nämnda typer av vattentäkter, men det finns ett behov av fördjupning i frågan för att, om möjligt, kunna bekräfta eller förkasta de teorier som finns.

Ovan beskrivna frågeställningar kommer att tas upp i ett påbörjat delprojekt inom ett större ramprojekt om dricksvattensäkerhet som finansieras av Sven Tyréns Stiftelse. Inom delprojektet kommer, bland annat, serier av analysdata från ett antal vattentäkter utvärderas för undersökning av samband mellan höga ytvattennivåer och kvalitetsförändringar i grundvattnet. Försök till bedömningar av sårbarheten hos olika typer av grundvattentäkter som på något sätt har kontakt med ytvatten kommer också att prövas. Ambitionen är att kunna ge en indikation på hur omfattande problemen kan förväntas bli i samband med en klimatförändring. Syftet är också att kunna föreslå möjliga åtgärder för att begränsa riskerna.

I en förlängning till aktuellt delprojekt kommer också, inom samma ramprojekt, en riskanalys göras beträffande mikrobiella risker vid grundvattentäkter. Denna studie kommer att göras av Johan Åström i samarbete med Chalmers Tekniska Högskola.

Jordbruksbevattning – växttillgängligt vatten i jorden – växters behov

Bertil Svensson

Jordbruksverket, Box 12, 232 53 Alnarp

Jordarter

Mängden växttillgängligt vatten för en växt beror på hur mycket vatten som jorden kan hålla och växtens rotdjup (Jordbruksverket 2007). Lerjordar kan innehålla dubbelt så mycket växttillgängligt vatten per volymenhet som sandjordar. I sandjord utvecklas växtens rötter i princip inte djupare än till den nivå som jordbearbetningen sker, det mekaniska motståndet för växten blir för stort på större djup. I lerjordar kan rotdjupet överstiga en meter. Rotdjupet beror även på hur lång växperioden är och på växtslag.

Växtens vattenbehov

Vatten i jorden tas upp av växtens rötter och transporteras upp till bladen. Det tryck som uppstår ger växten dess spänst. Växten behöver kylas för att cellerna inte ska sprängas. Kylningen sker genom avdunstning.

Efter hand som mängden växttillgängligt vatten minskar i jorden, så får växten allt svårare att ”suga” upp vatten. När

25 % av det växttillgängliga vattnet förbrukats börjar växten att tappa i tillväxt. Vid för lite vatten äventyras inte bara skördevolymen utan framför allt kvaliteten på produkten.

Under perioder med hög temperatur avdunstar motsvarande flera millimeter vatten genom växten. Vatteninnehållet i lätta jordar behöver då fyllas på. Om regnet uteblir kan vatten tillföras genom bevattning. Bevattning på sandjordar behöver ske var tredje till fjärde dag för optimal tillväxt.

SLU har beräknat att under ”torrår” kan bevattningsbehovet för matpotatis uppgå till motsvarande 250 mm och för sallatsodling med tre kulturer till 400 mm.

Referenser

Jordbruksverket, 2007: Bevattning och växtnäringssutnyttjande. *Jordbruksinformation 5*.

Mapping and monitoring of groundwater in Denmark

Lærke Thorling¹ & Susie Mielby²

¹ Senior Geochemist, GEUS, Denmark, Its@geus.dk

² Senior Hydrogeologist, GEUS, Denmark, smi@geus.dk

Introduction

In Denmark, public drinking water supplies entirely originate from groundwater. Groundwater protection is therefore a high priority and since 1985 it has been among the most important drivers of regulation of the Danish agricultural sector through national action plans and EU policies. As for the Nitrates Directive the whole territory is designated nitrate vulnerable.

Besides the general regulation of groundwater through the national action plans, specific groundwater protection in abstraction areas based on dense hydrogeological mapping was introduced in 1998.

Mapping of groundwater in Denmark

The objective of the mapping, which is based on new geophysical surveys, survey drilling, water sampling, hydrological modeling, etc., is to prepare groundwater vulnerability maps. These maps are the foundation for the establishment of site-specific groundwater protection zones to prevent groundwater contamination from urban development and agricultural sources. The mapping and planning work is to be carried out from 1998 to 2015.

40% of Denmark is designated as particularly valuable water abstraction areas. The total cost of this spatially dense mapping and planning work is estimated at around DKK 2,5 billion, equivalent to 330 million euro or 7500 euro per km² for a programme encompassing geophysical profiling every 250 m, survey drilling every 4 km², water sampling and hydrological modelling. Danish consumers have to pay the County Councils a 0.02 euro surcharge per m³ of water consumed, i.e. about 4 euro per family per year.

Protection strategy

Groundwater protection in Denmark is based on the assumption that the physical environment provides some degree of protection against anthropogenic pressures, especially as regards contaminants entering the subsurface environment. The fundamental concept of site-specific groundwater protection zones is that some areas are more vulnerable to groundwater contamination than others. The goal is thus the subdivision of a given area according to the different potential of the various subareas as regards specific purposes and uses.

The Quaternary geology in Denmark is very complex, and the existing geological maps are largely based on geological information from boreholes. As a consequence, the maps are not sufficiently detailed and precise to enable delineation of the new protection zones.

Results

Besides a precise mapping of the vulnerability, the knowledge of the Danish geology that founds the basis of aquifers,

abstraction and monitoring has increased and is expected to be of benefit for the EU Water Framework Directive work.

Going into details, the results of the mappings are comprehensive. The resulting vulnerability mappings are – beside based on standards for vulnerability maps – also based on new standards for borehole information, geophysical mapping, mapping of potential heads, geochemical mapping, geological mapping, mapping of chalk aquifers and hydrological modelling.

Databases for the storage and maintenance of the results have been and are under development. Today we have a borehole database, a geophysical database, a report database and a model database. At the moment, new database facilities on potential heads are under development.

More than 50% of the areas to be mapped are finished today. Mapping results for the geophysical mapping is at the moment nearly 100% collated and checked for these areas. For other databases and GIS the reporting is more incomplete and a comprehensive work is going on in order to be sure that data are stored and thus usable for the users afterwards.

Monitoring groundwater in Denmark

Groundwater monitoring in Denmark has until 2010 been based on information from 75 groundwater monitoring areas, typically with 20–25 monitoring screens in each area. Today, a more distributed net of monitoring points is under establishment to fulfil the need of monitoring of the groundwater bodies, while monitoring points in groundwater older than 70 years is halted. In the original groundwater monitoring programme, about 75% of the monitoring was dated by chlorofluorocarbon (CFC) to be recharged after 1940. Almost 50% of the screens have nitrate concentrations above 5 mg/l, and in a similar fraction pesticides have been detected at least once.

The EU groundwater directive (EU 2006) implies requirements to identify and reverse trends presenting a risk of harm to the quality of aquatic ecosystems or terrestrial ecosystems, to human health or to the actual or potential legitimate use of the water environment through mitigation measures in order to progressively reduce the pollution and prevent deterioration of groundwater.

As a consequence, this must be reflected in the related monitoring systems and the strategy for interpretation of the monitoring data. Specifically, for groundwater systems there is a methodological challenge in interpreting the impact of the measures due to the lack of concurrence between the observations of groundwater quality and the implementation of measures, which is a consequence of the often unknown distribution of residence time of groundwater at the monitoring points. Thus, dating of groundwater is very important in order to establish this link.

State of the groundwater

The easy question is: how is the state of nitrate or pesticides in groundwater in Denmark? The difficult part is to give a clear answer. To do this a conceptual model of the understanding of the dynamics of nitrate and pesticides in groundwater is prerequisite. In sandy regions, nitrate and pesticides can be found more than 100 m below surface. In some clayey regions, nitrate is reduced already in the top soil, whereas some pesticides are more persistent under these conditions.

The implications of the conceptual model is that each sample from a monitoring well represents not only the point and time (x, y, z, t) where the water was abstracted but also the time of recharge, t_r , where the influence from surface activities were imbedded in the groundwater. The present state of nitrate found in the monitoring network is thus a result of the nitrate leaching from agriculture over the last 70 years. The youngest groundwater in the monitoring programme is approximately 5 years due to the needed time for transport through the unsaturated zone and to layers where it is possible to pump water from.

Results

Trend reversal of nitrate in oxic Danish groundwater was successfully identified. (Hansen et al. 2011). This is in agreement with the monitoring results from surface water and coastal waters. (Jensen et al. 2012).

The many findings of pesticides in groundwater have had a direct impact on the number of legal pesticides in use in Denmark, and several pesticides, e.g. Atrazin, have been banned. The results from the monitoring system are also used to select which pesticides to monitor in public drinking water wells.

References

Hansen, B. & Thorling, L., 2008: Use of geochemistry in groundwater vulnerability mapping in Denmark. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin* 15, 45–48.

- Hansen, B., Thorling, L., Dalgaard, T. & Erlandsen, M., 2011: Trend reversal of nitrate in Danish groundwater – a reflection of agricultural practices and nitrogen surpluses since 1950. *Environmental Science & Technology* 45, 228–234. <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es102334u>>.
- Hansen, B., Dalgaard, T., Thorling, L., Sørensen, B. & Erlandsen, M., 2012: Regional analysis of groundwater nitrate concentrations and trends in Denmark in regard to agricultural influence. *Biogeosciences* 9, 3277–3286. <<http://www.biogeosciences.net/9/3277/2012/bg-9-3277-2012.html>>.
- Jensen, P. N., Boutrup, S., Fredshavn, J.R., Svendsen, L.M., Blicheer-Mathiesen, G., Wiberg-Larsen, P., Bjerring, R. Hansen, J.W., Nielsen, K.E., Ellermann, T., Thorling, L. & Gade, A., 2012: *Vandmiljø og Natur 2011. NOVANA. Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning*. DCE, Århus Universitet 2012. <www.dmu.dk/Pub/SR36.pdf>.
- Jørgensen, L.F. & Stockmarr, J., 2009: Groundwater monitoring in Denmark: characteristics, perspectives and comparison with other countries. *Hydrogeology Journal* 17, 827–842.
- Mielby, S. (ed.), 2011: *Den nationale grundvandskortlægning i Danmark*. Faglige resultater fra GEUS 2010. GEUS særudgivelse, ISBN 978-87-7871-314-8 og 978-87-7871-315-5, 60 pp.
- Thomsen, R., Søndergaard, V.H. & Sørensen, K.I., 2004: Hydrogeological mapping as a basis for establishing site-specific groundwater protection zones in Denmark. *Hydrogeology Journal* 12, 550–562.
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R. & Mielby, S., 2012: *Grundvandsovervågning 2012*. Teknisk rapport GEUS. <www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2011.htm>.

Groundwater characterisation, monitoring and planning within the EU and the UK

Rob Ward

Director of Groundwater Science, British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, UK

The European Union's Water Framework Directive (WFD) was introduced in December 2000. Its purpose is to ensure that water across Europe, including groundwater, is managed and protected in a more effective and sustainable way for the benefits of both society and the environment. To clarify some of the specific objectives for groundwater, a supporting Groundwater Directive was introduced in 2006.

In combination, the two Directives establish environmental objectives for groundwater and outline the process by which these must be achieved. The environmental objectives for groundwater as set out in the WFD are: to prevent or limit inputs of pollutants to groundwater, prevent deterioration of status of groundwater bodies, restore groundwater bodies to good status, reverse significant upward trends in pollutant concentrations and achieve relevant protected area objectives. The achievement of the environmental objectives requires the establishment of programmes of measures. In advance of this is a need to develop an understanding of the groundwater environments to which the objectives apply so that measures can be most effectively implemented.

The understanding of the groundwater systems is achieved through a process that involves the identification of groundwater bodies, characterisation, risk assessment and monitoring programmes. This information is used to identify the current condition of groundwater bodies (status), the changes that are taking place (trends) and the anthropogenic activi-

ties that are impacting on groundwater (pressures and impacts). In combination this knowledge is used to establish specific objectives for each water body, establish the measures needed to comply with the wider environmental objectives and evaluate environmental improvement. The approach outlined recognises the linkages between different parts of the water environment in terms of quality, quantity and ecology. The assessment of groundwater body status takes this into account and requires a series of tests to be met. These include consideration of: pollutant impacts on drinking water; impacts on groundwater dependent surface water chemistry, ecology and flows; impacts on groundwater dependent ecosystems; widespread pollution of groundwater and; over abstraction of aquifers.

This talk will consider the implementation of the different aspects and requirements of the WFD in the UK (with a focus on England and Wales). It will consider how geological information was fundamental to delineating groundwater bodies, how these bodies were then characterised and the relevant pressures and associated risks assessed, how the surveillance and operational monitoring programmes were designed and implemented and then how the results from this monitoring were used to inform status and trend assessment. The talk will then look at the process beyond status and trend assessment and outline the approach to setting programmes of measures and, where needed, alternative and less stringent objectives.

Grundvattenberoende ekosystem i Sverige – naturvärden och känslighet för hydrologisk och hydrokemisk påverkan

Kent Werner¹ & Per Collinder²

¹EmpTec, Larmvägen 8, 187 75 Täby

²Ekologigruppen AB, Åsögatan 121, 116 24 Stockholm

Bakgrund och metodik

Grundvattnets ekologiska betydelse studeras inom det integrerade ämnesområdet *ekohydrologi* (eller hydroekologi) som behandlar kopplingar mellan hydrologiska och ekologiska processer (Bond 2003, Bonell 2002, Hanna m.fl. 2004). Dessa kopplingar innebär bland annat att planering och tillståndsprövning av verksamheter i områden som innehåller grundvattenberoende ekosystem (Eamus & Froend 2006, Hancock m.fl. 2009) på ett integrerat sätt måste hantera verksamheternas hydrologiska och hydrokemiska effekter och deras ekologiska konsekvenser.

Det finns för närvarande ett stort antal öppna forskningsfrågor inom ämnesområdet (t.ex. Hanna m.fl. 2004). Bland annat behöver man utveckla och utvärdera metodik för att beskriva och kvantifiera de ekologiska konsekvenserna för grundvattenberoende ekosystem om förhållandena ändras i anslutna grundvattensystem.

Som ett led i detta har det tagits fram förslag på metodik för att prognostisera ekohydrologiska responser till följd av grundvattenbortledning (Werner m.fl. 2011, 2013). Metodiken innefattar klassificering av naturvärden, känslighet samt hydrologiska och hydrokemiska effekter. Metodiken har tillämpats på en större, planerad berganläggning i Sverige (slutförvaret för använt kärnbränsle), i ett område med god tillgång på hydrologiska, hydrokemiska och ekologiska data och som innehåller några av de typer av grundvattenberoende ekosystem som finns i landet (Werner m.fl. 2010).

Som stöd för miljömålsarbete och svensk vattenförvaltning behöver det ske en fortsatt kunskapsinhämtning och metodikutveckling. Specifikt finns det behov av att identifiera samtliga typer av grundvattenberoende ekosystem i Sverige och att klassificera deras generella naturvärden. Vidare behöver man klassificera generell känslighet för hydrologisk och hydrokemisk påverkan på ekosystem och ansluten grundvattenförekomst.

För närvarande genomför SGU, i samarbete med andra organisationer, studier rörande de grundvattenberoende ekosystem som finns i Sverige. Dessa studier innefattar bland annat utveckling och tillämpning av metodik för att klassificera deras generella naturvärden och känslighet. Dessa studier utgår från Natura 2000-naturtyper och behandlar både kvantitativa och kvalitativa aspekter på grundvattnet.

Enligt den metodik som utvecklats hittills styrs klassificeringen av naturtypens generella värde av faktorerna förekomst (sällsynthet) och hot. Naturtypens generella känslighet styrs dels av dess inneboende känslighet, dels dess sårbarhet. Specifikt ska klassificeringen av ekosystemets inneboende känslighet återspegla dess beroende av de hy-

drologiska och hydrokemiska förhållanden som råder inom ekosystemet. Klassificeringen av sårbarhet styrs av hur stora effekterna blir på de hydrologiska och hydrokemiska förhållandena inom ekosystemet vid en påverkan på den anslutna grundvattenförekomsten.

Resultat och diskussion

Den metodik som utvecklats och tillämpats för att prognostisera ekohydrologiska responser till följd av grundvattenbortledning från slutförvaret för använt kärnbränsle (Werner m.fl. 2010, 2011, 2013) visar att metodiken ger viktiga underlag för prioritering av övervaknings- och åtgärdsprogram i det aktuella området. Resultat och slutsatser från denna tillämpning är dock begränsade till den specifika verksamheten och de typer av ekosystem som finns i området.

Inom ramen för de pågående studierna, som alltså behandlar samtliga Natura 2000-naturtyper som finns i Sverige, har drygt hälften av naturtyperna bedömts vara grundvattenberoende. Studierna har hittills fokuserat på kvantitativa aspekter på grundvattnet; drygt tio naturtyper har därvid erhållit högst känslighetsklass. Av dessa har fem naturtyper högst naturvärdesklass, såsom källor med kalktuffbildning och rikkärr. Fortsatta studier kommer även att behandla hydrokemiska aspekter på grundvattnet.

Pågående och fortsatta studier syftar till att förbättra kunskapsläget och ska bidra till att lyfta fram grundvattnets ekologiska betydelse. Resultaten ska bland annat kunna användas som en utgångspunkt för indikatorer och uppföljningsmått inom miljömålsarbetet, som underlag vid uppdatering av åtgärdsprogram i Natura 2000-områden och för bedömning av bevarandestatus för sådana områden. I förlängningen kan resultaten även komma att användas som underlag inför beslut om avgränsning av grundvattenförekomster och beslut om miljökvalitetsnormer.

Som del av utvecklingsarbetet bör metodiken och dess resultat, i form av klassificeringar av grundvattenberoende ekosystems generella värden och känslighet, testas och utvärderas inför tillämpningar inom miljömålsarbete och svensk vattenförvaltning.

Referenser

- Bond, B, 2003: Hydrology and ecology meet – and the meeting is good. *Hydrological Processes* 17, 2087–2089.
- Bonell, M, 2002: Ecohydrology – a completely new idea? *Hydrological Sciences Journal* 47, 809–810.
- Eamus, D. & Froend, R., 2006: Groundwater-dependent ecosystems – the where, what and why of GDEs. *Australian Journal of Botany* 17, 91–96.

- Hancock, P.J., Hunt, R.J. & Boulton, A.J., 2009: Hydro-geoecology, the interdisciplinary study of groundwater dependent ecosystems. *Hydrogeology Journal* 17, 1–3.
- Hanna, D.M., Wood, P.J. & Sadler, J.P., 2004: Ecohydrology and hydroecology: A new 'paradigm'? *Hydrological Processes* 18, 3439–3445.
- Werner, K., Hamrén, U. & Collinder, P., 2010: Vattenverksamhet i Forsmark (del I). Bortledande av grundvatten från slutförvarsanläggningen för använt kärnbränsle. *Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB-R-10-14*, 141 s.
- Werner, K., Collinder, P., Berglund, S. & Bosson, S., 2011: Groundwater diversion from a deep-rock repository for spent nuclear fuel: Ecohydrological assessment of environmental impacts. *Radioprotection* 46, S661–S667.
- Werner, K., Collinder, P., Mårtensson, E. & Berglund, S., 2013: Ecohydrological responses to diversion of groundwater: Case study of a deep-rock repository for spent nuclear fuel in Sweden. *Ambio* 42, 517–526.

SGUs nya tjänst Grundvattenutredningar

Emil Vikberg, Jonas Gierup & Fredrik Blom

Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala

SGU har under året tagit fram en ny tjänst för att skicka in och söka ut grundvattenutredningar i digital form. De grundvattenutredningar som tidigare fanns sökbara i SGUs Georegister flyttas över till en ny databas.

Tjänsten riktar sig främst till konsulter som arbetar med grundvattenfrågor och som enligt lag ska skicka in färdigställda grundvattenutredningar till SGU.

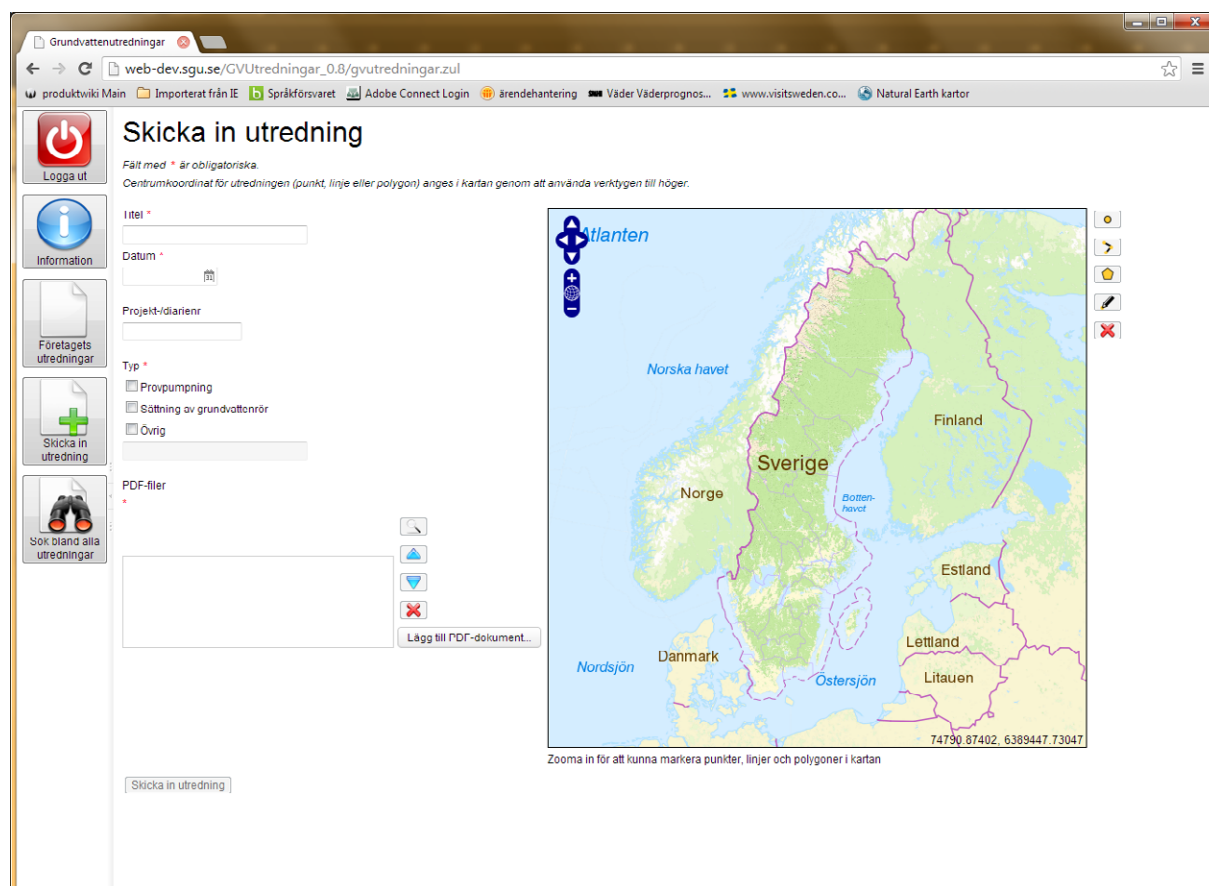
Med den nya tjänsten kommer det att bli både smidigare och enklare att skicka in grundvattenutredningar digitalt till SGU. Det kommer även att bli lättare att få tillgång till de grundvattenutredningar som finns digitalt i SGUs databas.

För att skicka in utredningar till SGU krävs att företaget har en inloggning samt att ett fåtal obligatoriska uppgifter

anges i webbtjänsten (t.ex. koordinat, titel, bifogat pdf-dokument).

I inloggat läge finns hela företagets registrerade grundvattenutredningar samlade i en egen sökfunktion. Det finns även en sökfunktion där det går att söka bland alla grundvattenutredningar som finns registrerade på SGU.

Under grundvattendagarna kommer SGUs personal att finnas på plats för att informera om och visa den nya webbtjänsten. Det kommer även att finnas en möjlighet att registrera både sig själv och sitt företag för användning.



Figur 1. Webbtjänsten med sidan för att skicka in en grundvattenutredning till SGU.

Bekämpningsmedelsförekomst och grundvattenålder i ett mindre tillrinningsområde i Skåne

Maria Åkesson¹, David Bendz², Christel Carlsson², Charlotte Sparrenbom¹ & Jenny Kreuger³

¹Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund

²Statens geotekniska institut, Adelgatan 19, 211 22 Malmö

³Institutionen för vatten och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet, Box 7050, 750 07 Uppsala

Bakgrund

Bekämpningsmedel detekteras regelbundet i grundvattenmagasin världen över. Detta är besvärande då bekämpningsmedel till sin natur är skadliga för levande organismer, och då de potentiellt kan förbli i grundvattenmiljön lång tid framöver till följd av begränsad nedbrytningskapacitet och långsamma omsättningstider.

Under senare decennier har otaliga undersökningar gradvis förbättrat förståelsen för vilka faktorer som styr bekämpningsmedelstransport till grundvatten. Typiskt baserar sig den här typen av studier på kortare fältförsök, numeriska simuleringar alternativt statistiska analyser av fynd i specifika brunnar. Något som i princip helt saknas är studier av bekämpningsmedelstransport till grundvatten under normala bruksförhållanden, under längre tid.

Som en del av projektet Pegasus (Pesticides in groundwater – a study for sustainable use in Skåne), och i syfte att försöka förstå, förklara och simulera styrande processer för transporten av bekämpningsmedel i mark och grundvatten, modellerades dokumenterad spridning och transport av sex olika bekämpningsmedel i ett mindre grundvattensystem i södra Skåne. Resultaten utvärderades i förhållande till fynd i grundvattnet. Grundvattenanalyser av tritium och helium-3 används för modellkalibrering.

Undersökningsområde

Undersökningsområdet är ett av fyra svenska typområden för miljöövervakning av bekämpningsmedel som drivs av Sveriges Lantbruksuniversitet på uppdrag av Naturvårdsverket. I det aktuella typområdet har, i samarbete med lokala lantbrukare, bekämpningsmedelsanvändning dokumenterats sedan 1990. Sedan 2004 övervakas bekämpningsmedelsförekomsten i grundvatten via fyra övervakningsbrunnar placerade i två kluster. Ett av dessa kluster samt tillhörande tillrinningsområde valdes för denna studie. Området och bekämpningsmedelsförekomsten där har tidigare analyserats statistiskt (abstract i denna volym, Åkesson m.fl. 2013a).

Metod

Baserad på tolkning av borrhålsloggar, geofysiska data (DC/IP, EM) och SGUs jordartskarta (1:50 000) konstruerades en tvådimensionell modell över undersökningsområdet i HYDRUS 2D (figur 1). Modellen kördes sedan utifrån ansatta randvillkor inkluderande platsspecifika nederbörds-, avdunstnings- och avrinningsdata framtagna via SMHIs S-HYPE-modell (Lindström m.fl. 2010).

Modellen kalibrerades genom att simulera infiltration, transport och nedbrytning av tritium. Porositeten för den ytliga moränleran justerades så att modellresultatens överensstämmelse med uppmätta halter av tritium och helium-3 i observationsrören optimerades. Tritium är ett så kallat "naturligt spårämne" vars halt i atmosfären steg kraftigt efter atombombsproverna på 1950–1960-talen, och sedan dess har infiltrerat i en känd, avklingande koncentration med regnvatten (Solomon & Cook 2000). I grundvattenmiljön ackumuleras tritiums sönderfallsprodukt helium-3 varvid förhållandet dessa substanser emellan kan användas för grundvattendatering. Baserat på dokumenterade spridningsdata (1990–2010) användes den kalibrerade modellen för att simulera infiltration och transport av bentazon, diklorprop, glyfosat, isoproturon, MCPA och metamitron. Experimentellt framtagna, platsspecifika parametrar för sorption och nedbrytning användes. Modellerade koncentrationer jämfördes mot uppmätta halter i de båda undersökningsbrunnarna.

Resultat

Det kalibrerade parametervärdet för porositeten i den ytliga moränleran blev 0,22 vilket indikerar en hög genomsläpplighet. Det låga värdet förmodas spegla förekomsten av heterogeniteter och spricksystem i moränleran. Detta är i överensstämmelse med observationer av sprickighet i moränleror i Danmark.

Vad gäller bekämpningsmedelstransport så lyckas modellen koppla dokumenterad spridning och förekomst av de relativt lösliga ämnena bentazon, diklorprop, isoproturon och MCPA. Modellen kan inte beskriva förekomsten av de mer sorberande substanserna glyfosat och metamitron. Detta antas bero på en för enkel konceptualisering av undersökningsområdet och de styrande processerna. En förbättrad modellprestanda för dessa substanser kräver en mer detaljerad modell där hänsyn tas till sprickighet och spatiala variationer.

Potential & utvecklingsmöjligheter

Transportmodellering i grundvattensystem baserad på modellkalibrering via tritium och helium-3 är en kraftfull metodik. Kalibreringsförfarandet är transparent och enkelt.

Begränsningarna ligger framför allt i den konceptuella modellen, som i detta fall hade behövt förfinas för att spegla fältförhållandena både med avseende på sprickighet, spatiala variationer för både fysikaliska och kemiska parametrar och möjligen även reaktionskinetik.

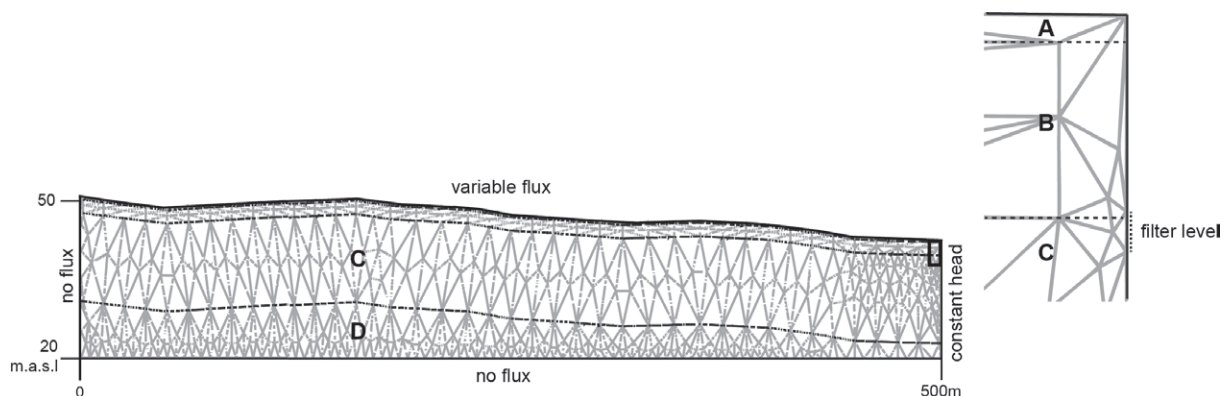
Referenser

Lindström, G., Pers, C., Rosberg, J., Strömqvist, J. & Arheimer, B., 2010: Development and testing of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) water quality model for different spatial scales. *Hydrology Research* 41, 295–319.

Solomon, D.K. & Cook, P.G., 2000: ^3H and ^3He . I Cook & Herczeg (red.): *Environmental tracers in subsurface hydrology*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 529 s.

Åkesson, M., Sparrenbom, C.J., Carlsson, C. & Kreuger, J., 2013a: Statistical screening for descriptive parameters for pesticide occurrence in a shallow groundwater catchment. *Journal of Hydrology* 477, 165–174.

Åkesson, M., Bendz, D., Carlsson, C. & Sparrenbom, C.J., 2013b: Pesticide occurrence and groundwater age in a small catchment in southern Sweden. *In review to Applied geochemistry*.



Figur 1. Konceptuell, tvådimensionell modell över undersökningsområdet. Till höger en förstoring av den del av modellen som motsvarar övervakningsbrunnarnas placering.

Bekämpningsmedel i grundvatten – statistisk analys av styrande faktorer

Maria Åkesson¹, Charlotte Sparrenbom¹, Christel Carlsson² & Jenny Kreuger³

¹Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund

²Statens geotekniska institut, Adelgatan 19, 211 22 Malmö

³Institutionen för vatten och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet, Box 7050, 750 07 Uppsala

Bakgrund & syfte

Bekämpningsmedel detekteras regelbundet i grundvattenmagasin världen över. Detta är besvärande då bekämpningsmedel till sin natur är skadliga för levande organismer, och då de potentiellt kan förbli i grundvattenmiljön under tid framöver till följd av begränsad nedbrytningskapacitet och långsamma omsättningstider.

Under senare decennier har otaliga undersökningar gradvis förbättrat förståelsen för vilka faktorer som styr bekämpningsmedelstransport till grundvatten. Typiskt baserar sig den här typen av studier på kortare fältförsök, numeriska simuleringar alternativt statistiska analyser av fynd i specifika brunnar. Något som i princip helt saknas är studier av bekämpningsmedelstransport till grundvatten under normala brukningsförhållanden, under längre tid.

Som en inledande analys inom projektet Pegasus (Pesticides in groundwater – a study for sustainable use in Skåne), analyserades sju års bekämpningsmedelsdata från en övervakningsbrunn i södra Skåne i förhållande till 21 års brukningsdata i dess tillrinningsområde. Syftet med studien var att öka kunskapen om styrande faktorer för bekämpningsmedelstransport till grundvatten.

Lokal & metod

Undersökningsområdet är ett av fyra svenska typområden för miljöövervakning av bekämpningsmedel som drivs av Sveriges lantbruksuniversitet på uppdrag av Naturvårdsverket. I det aktuella typområdet har, i samarbete med lokala lantbrukare, bekämpningsmedelsanvändning dokumenterats sedan 1990. Sedan 2004 övervakas bekämpningsmedelsförekomsten i grundvatten i området via fyra övervakningsbrunnar. Dataserien är globalt unik.

För den här studien valdes en av de fyra brunnarna ut för vidare analys. Valet baserades på resultat av för projektet utförda grundvattendateringar som indikerade att den valda brunnen, med en medelålder på tio år, pumpade det yngsta vattnet i området. Därmed lämpade den sig bäst för jämförelse med dokumenterad användning.

Efter nödvändiga korrekationer för genom åren varierande detektionsgränser och analysomfång delades i området använda substanser upp i två grupper: de som hittats i halter $\geq 0,01 \mu\text{g/L}$ ("detekterade substanser") och de som inte hittats i halter $\geq 0,01 \mu\text{g/L}$ ("ej detekterade substanser").

Data rörande intensiteten av användning för samtliga substanser sammanställdes utifrån SLUs data. Nederbörd i förhållande till applikationstillfällen sammanställdes vidare baserat på mätningar vid en väderstation ca 2 km från

brunnen. Kemiska data för substanserna inhämtades och sammanställdes från FOOTPRINT Pesticide Properties Database (PPDB 2009). Slutligen beräknades medelvärden för antagna permeabilitetsförhållande vid applikation baserat på SGUs jordartskarta (1:50 000) samt medelavstånd till brunnen från applikation via ArcGIS.

Sammanställda data jämfördes gruppvis via t-test för medel- och medianvärden, samt via bootstrapmetoden (Efron 1979).

Resultat

Det absolut tydligaste resultatet av den statistiska analysen gäller användningsintensiteten som är signifikant högre för gruppen med detekterade substanser. Resultatet är logiskt; ju mer omfattande användning, desto större risk för grundvattenförekomst. Vad gäller permeabilitet och avstånd till brunnen kunde ingen betydande skillnad konstateras mellan grupperna. En trolig förklaring är att initiala skillnader av dessa parametrar i den här typen av analys tar ut varandra över tid genom användning av växtföljder där grödor och därmed även typ av använda bekämpningsmedel skiftar inom området från år till år. En annan förklaring är att moränlera, som vi antagit ha en låg permeabilitet, i verkligheten inte är så lågpermeabel på grund av framför allt sprickor (Nilsson 2001) men även sandlinser (Kessler 2012).

Nederbördsresultaten, som bör tolkas försiktigt med tanke på mätosäkerheter och upplösning, ger vissa indikationer på att relativt sett mindre nederbörd såväl innan som efter bekämpningsmedelsanvändning skulle kunna innebära större risk för spridning till grundvattnet. Tänkbara förklaringar är att en relativt torrare jord dels inte håller bekämpningsmedlen lika effektivt (Shipitalo m.fl. 1990), dels leder till sprickbildning och ökad vertikal transport i ytlagren (Brown m.fl. 1995), och att mindre nederbörd efter applikation innebär minskad ytavrinning och lägre utspädning.

Jämförelsen mellan de olika gruppernas kemi indikerar en signifikant skillnad med avseende på Henrys lags konstant (som anger ett kemiskt ämnes fördelning mellan vatten och luft), samt fördelningskoefficienten mellan oktanol och vatten ($\log P_{ow}$). De här parametrarna kan anses vara mer substansspecifika än mer generellt vedertagna mått på ett bekämpningsmedels urlakningspotential såsom K_d och DT_{50} , vilka är direkt relaterade inte bara till den kemiska substansen utan även till markens biogeokemi. Tabellvärden för de senare ter sig alltså vara relativt sett sämre lämpade för riskbedömning för bekämpningsmedelstransport till grundvatten i detta fall. Detta indikerar vikten av platsspecifika undersökningar och värden för den här typen av parametrar.

Implikationer & vidare behov

Den här studien ger vissa indikationer på vilka faktorer som styr transport av bekämpningsmedel till grundvatten. Det är tydligt att en god uppfattning om användning av bekämpningsmedel inom ett visst tillrinningsområde är grundläggande för en riskbedömning av vidare transport till grundvattenmagasinet i fråga. Vidare verkar nederbördsförhållande i samband med applikation vara avgörande, precis som den specifika substansens kemi – i samspel med markens biogeokemiska egenskaper. Även om de här uppgifterna kan fungera som underlag till utvärdering av lämpliga riskindikatorer, så behövs en djupare analys för att verifiera och bättre förstå och förklara de faktiska processerna och interaktionen dem emellan. Grundläggande förutsättningar för en tillförlitlig och användbar sådan analys är (i) mer detaljerade hydrogeologiska undersökningar, och (ii) platsspecifika data för nedbrytning och sorption av studerade substanser.

Referenser

- Brown, C.D., Hodgkinson, R.A., Rose, D.A., Syers, K. & Wilcockson, S.J., 1995: Movement of pesticides to surface waters from a heavy clay soil. *Pesticide Science* 43, 131–140.
- Efron, B., 1979: 1977 Rietz lecture – bootstrap methods – another look at the jackknife. *Annals of Statistics* 7:1, 1–26.
- Kessler, T., 2012: *Hydrogeological characterization of low-permeability clayey tills – the role of sand lenses*. PhD-thesis, DTU Environment, 80 s.
- Nilsson, B., Sidle, R.C., Klint, K.E., Boggild, C.E. & Broholm, K., 2001: Mass transport and scale-dependent hydraulic tests in a heterogeneous glacial till-sandy aquifer system. *Journal of Hydrology* 243, 162–179.
- PPDB, 2009: *The pesticide properties database (PPDB)*. Agriculture & Environment Research Unit (AERU), University of Herfordshire. Funded by UK National Sources and the EU-funded FOOTPRINT Project (FP6-SSP-022704).
- Shipitalo, M.J., Edwards, W.M., Dick, W.A. & Owens, L.B., 1990: Initial storm effects on macropore transport of surface-applied chemicals in no-till soil. *Soil Science Society of America Journal* 54, 1530–1536.
- Plummer, L.N. & Busenberg, E., 2000: Chlorofluorocarbons. I Cook & Herczeg (red.): *Environmental tracers in subsurface hydrology*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 529 s.
- Naturvårdsverket, 2013: Miljömålen – årlig uppföljning av Sveriges miljö kvalitetsmål och etappmål 2013. *Naturvårdsverket Rapport 6557*, 262 s.
- Solomon, D.K. & Cook, P.G., 2000: ^3H and ^3He . I Cook & Herczeg (red.): *Environmental tracers in subsurface hydrology*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 529 s.
- Åkesson, M., Sparrenbom, C.J., Carlsson, C. & Kreuger, J., 2013a: Statistical screening for descriptive parameters for pesticide occurrence in a shallow groundwater catchment. *Journal of Hydrology* 477, 165–174.

Datering av grundvatten ur ett riskfokusperspektiv

Maria Åkesson & Charlotte Sparrenbom

Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund

I Naturvårdsverkets miljömålsuppföljning från 2013 slås det fast att förorenat grundvatten utgör ett nationellt problem. Det konstateras vidare att uppföljningen och övervakningen av förorenat grundvatten är otillräcklig, något som även uppmärksammats i EUs vattendirektivsuppföljning (2012). Förekomsten av förorenande ämnen i svenska grundvattenmagasin behöver utredas bättre, inte minst för att så effektiva åtgärder som möjligt ska kunna sättas in.

En central del av sådana utredningar är en tidsmässig koppling mellan infiltration och observation av grundvattnet i fråga, då denna är en förutsättning för en koppling mellan orsak (på ytan) och verkan (i grundvattnet). Åldersdatering av grundvatten kan möjliggöra en sådan koppling, och utgör således ett potentiellt kraftfullt riskbedömningsverktyg.

Grundvattendatering

Åldersdatering av grundvatten är möjlig via ett antal olika metoder. En av de vanligast tillämpade är tritium/helium-metoden (Solomon & Cook 2000). Tritium, ^3H , finns sedan atombombstesterna på 1950–1960-talen i förhöjda halter i atmosfären, och infiltrerar till grundvattnet tillsammans med regnvatten. Tritium sönderfaller konstant till helium-3, men det är först under grundvattenytan som denna gas kan ansamlas. Genom att beräkna förhållandet mellan tritium och helium-3 i ett grundvattenprov kan därmed tiden sedan infiltration, dvs. dess ålder, bestämmas.

En annan vanlig metod för åldersdatering av grundvatten är via klorfluorkarboner (CFC, Plummer & Busenberg 2000). Användningen av den här typen av ämnen som bl.a. köldmedier och lösningsmedel var utbredd under mitten av 1900-talet, vilket orsakade en häftigt stigande atmosfärisk halt som övervakats sedan 1950-talet. Under grundvattenytan betar sig CFC i huvudsak ickereaktivt varvid ett grundvattenprovets halt i teorin bör motsvara halten i atmosfären vid infiltration. Genom att koppla en i grundvattnet uppmätt halt till en i atmosfären uppmätt halt ett givet år kan därmed vattenprovets ålder bestämmas. Åldersdatering via svavelhexafluorid, SF_6 , fungerar enligt samma princip (Busenberg & Plummer 2000). SF_6 används som bl.a. isolering i ställverk och som skyddsgas vid metallsmältning.

Tillämpning

Vi har analyserat ett trettioårigt skånska grundvattenbrunnar (kommunala dricksvattenbrunnar och övervakningsbrunnar) med avseende på åldersbestämning via tritium/helium, CFC och SF_6 för att utreda tillämpbarheten som riskbedömningsverktyg under rådande förhållanden. Vi kan konsta-

tera att metoderna ofta genererar värdefulla data såväl i detta syfte som vad gäller mer generell karaktärisering av rådande hydrogeologiska förhållanden. Åldersdatering av grundvatten kan användas som underlag för mer generell tolkning av föroreningsförekomst i förhållande till dokumenterad användning (Åkesson m.fl. 2013a), såväl som för kalibrering av mer detaljerade flödes- och transportmodeller (Åkesson m.fl. 2013b). Vi kan dock också fastslå att enskilda analyser sällan ger fullständigt tillfredsställande och entydiga svar, varför de bör analyseras och tolkas i förhållande till andra hydrogeologiska data.

Vad gäller datering av skånska grundvatten har SF_6 -metoden visat sig direkt olämplig i flertalet fall till följd av extremt höga bidrag från någon ännu oidentifierad föroreningskälla. Eventuellt är orsaken naturligt bildad SF_6 i Tornquistzonens fluoridhaltiga sprickbergarter.

Referenser

- Busenberg, E. & Plummer, L.N., 2000: Dating young groundwater with sulfur hexafluoride: Natural and anthropogenic sources of sulfur hexafluoride. *Water Resources Research* 36, 3011–3030.
- European Commission, 2012: *Report on the Implementation of the Water Framework Directive(2000/60/EC) regarding member state Sweden: River basin management plans*. The European Commission WFD Implementation Reports, 69 s. Hämtat från <http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/pdf/CWD-2012-379_EN-Vol3_SE.pdf> 7 augusti 2013.
- Plummer, L.N. & Busenberg, E., 2000: Chlorofluorocarbons. I Cook & Herczeg (red.): *Environmental tracers in subsurface hydrology*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 529 s.
- Naturvårdsverket, 2013: Miljömålen – årlig uppföljning av Sveriges miljö kvalitetsmål och etappmål 2013. *Naturvårdsverket Rapport 6557*, 262 s.
- Solomon, D.K. & Cook, P.G., 2000: ^3H and ^3He . I Cook & Herczeg (red.): *Environmental tracers in subsurface hydrology*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 529 s.
- Åkesson, M., Sparrenbom, C.J., Carlsson, C. & Kreuger, J., 2013a: Statistical screening for descriptive parameters for pesticide occurrence in a shallow groundwater catchment. *Journal of Hydrology* 477, 165–174.
- Åkesson, M., Bendz, D., Carlsson, C. & Sparrenbom, C.J., 2013b: Pesticide occurrence and groundwater age in a small catchment in southern Sweden. *In review to Applied geochemistry*.



Geological Survey of Sweden
Box 670
SE-751 28 Uppsala
Phone: +46 18 17 90 00
Fax: +46 18 17 92 10
www.sgu.se

Uppsala 2013
ISSN 0349-2176
ISBN 978-91-7403-242-0
Tryck: Elanders Sverige AB