

Rapporter och meddelanden 138

# Grundvattendagarna 2015

Göteborg, 13–14 oktober

Lars-Ove Lång & Åsa Gierup (red.)



**SGU**

Sveriges geologiska undersökning  
Geological Survey of Sweden



Rapporter och meddelanden 138

**Grundvattendagarna 2015**  
**Göteborg, 13–14 oktober**

Lars-Ove Lång & Åsa Gierup (red.)

Sveriges geologiska undersökning  
2015

ISSN 0349-2176  
ISBN 978-91-7403-318-2

Omslagsbild: Gotlandskälla. Foto: Magdalena Thorsbrink.

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 och postrar som presenteras på konferensen Grundvattendagarna 2015 i Göteborg den 13–14 oktober. Grundvattendagarna 2015 är ett samarbete mellan Chalmers, Göteborgs universitet, Havs- och vattenmyndigheten, SGU och Trafikverket.

Konferensens övergripande tema är ”Grundvatten och samhällsplanering”. Tillgången till rent vatten är angelägen för alla i vårt samhälle. Kunskap om grundvattenförhållandena är en förutsättning för att kunna planera för en hållbar dricksvattenförsörjning och för hantering av naturresurser idag och i framtiden.

Totalt har 60 olika bidrag kommit in och omfattningen på innehållet är stort. Vi är mycket glada över det stora intresset för konferensen och för den respons som vi har fått. Vi ser fram emot Grundvattendagarna 2015 och hoppas på många spännande möten och nya kontakter inom olika nätverk!

Uppsala och Göteborg den 22 september 2015  
Åsa Gierup och Lars-Ove Lång

Organisationsgrupp för konferensen:

Roland Barthel (GU)

Mats Engdahl (SGU)

Åsa Gierup (SGU) – projektledare

Susanna Hogdin (HaV)

Björn Holgersson (SGU)

Lars-Ove Lång (SGU)

Anita Remnegård (SGU)

Lars Rosén (Chalmers)

Bengt Åhlen (Trafikverket)



## Innehåll

<b>Danish groundwater mapping and geodata management</b> .....	8
Torben Bach, Tom Martlev Pallesen, Niels-Peter Jensen, Rolf Johnsen & Tom Hagensen	
<b>PFASs in groundwater – a risk for Swedish drinking water?</b> .....	10
Stefan Banzhaf, Jeffrey Lewis, Charlotte Sparrenbom & Roland Barthel	
<b>”Sub-Urban” – transforming relationships between geoscientists and urban-decision makers</b> .....	11
Johannes de Beer, Diarmad Campbell & Peter Dahlgvist	
<b>Bergtäkt i en hållbar samhällsutveckling</b> .....	12
Elodie Bénac	
<b>A conceptual hydrogeological model of the Gothenburg city area with a special focus on groundwater recharge</b> .....	13
Hannah Berg, Johanna Engelbrektsson & Roland Barthel	
<b>Nedbrytning av trä i mark och vatten</b> .....	14
Charlotte Gjelstrup Björdal	
<b>Gaser i grundvatten: frågeställning och alternativa analysmetoder</b> .....	16
Anders Blom, Jessica Johansson & Alexandra Chukharkina	
<b>Oljeförorenat grundvatten: problem vid provtagning och analys</b> .....	17
Anders Blom, Jessica Johansson & Alexandra Chukharkina	
<b>Vattenförsörjningsplan för Göteborgsregionen</b> .....	18
Lena Blom, Jacob Lindkvist, Lars Heineson, Per Sander, Olof Bergstedt, Erik Kärrman, Anders Jansson, Andreas Lindhe & Lars-Ove Lång	
<b>Targeting arsenic-safe aquifers (TASA) in regions with high arsenic groundwater in Bangladesh and India</b> .....	19
Mattias von Brömssen, Prosun Bhattacharya, Gunnar Jacks, Ashis Biswas, Roger Thunvik, Kazi Matin Ahmed & Aziz Hasan	
<b>Markens lämplighet utifrån grundvattenförutsättningarna – grundvatten som resurs och grundvatten som hot</b> .....	20
Jonas Christensen	
<b>Organiseringen av arbetet med vattendirektivet i Norge og utfordringer relatert til av implementeringen av grunnvannsdirektivet i norsk vannforvaltning</b> .....	21
Atle Dagestad	
<b>Små vattentäkters betydelse i samhällsplaneringen</b> .....	23
Sten-Ove Dahllöf	
<b>Kartläggning och tolkning av ursprung till höga halter kadmium och bly i grundvattnet i Höörs kommun, Skåne</b> .....	24
Peter Dahlgvist, Anna Ladenberger, Madelen Andersson, Cecilia Jönsson & Lena Maxe	
<b>Helikopterburen kartläggning, SkyTEM-undersökningar på Gotland</b> .....	25
Peter Dahlgvist, Carl-Axel Triumf, Lena Persson, Mehrdad Bastani, Mikael Erlström, Flemming Jørgensen, Henrik Thulin-Olander, Mattias Gustafsson, Magdalena Thorsbrink, Kristian Schoning & Phil Curtis	
<b>Rimlig kostnad för tätning av tunnlar</b> .....	26
Thomas Dalmalm & Peter Lundman	
<b>Groundwater resources management in hard rock terrain: a balancing act</b> .....	27
Robert Earon & Bo Olofsson	
<b>Transport of nanoparticles with groundwater affected by soil and dissolved organic matter</b> .....	28
Fritjof Fagerlund, Maryeh Hedayati, Jean-Marc Mayotte & Prabhakar Sharma	
<b>Modelling groundwater transport and travel times in warming permafrost</b> .....	29
Andrew Frampton, Romain Pannetier & Georgia Destouni	
<b>Vattenskydd – riskanalys och föreskrifter</b> .....	30
Cristina Frycklund	

<b>Hydrogeologiska undersökningar gällande lakvattenbildning vid Brudaremassens deponi</b> .....	31
Maria Granberg, Johanna Merisalu, Sebastian Pokorny, Stefan Banzhaf & Roland Barthel	
<b>SGUs grundvattenkartering</b> .....	32
Mattias Gustafsson, Kajsa Bovin, Peter Dahlqvist, Charlotte Defoort, Eva Jirner, Lars-Ove Lång, Åsa Lindh, Elisabeth Magnusson, Henrik Mikko, Magdalena Thorsbrink & Emil Vikberg	
<b>Kartläggning av gränsöverskridande grundvattenförekomster mellan Sverige och Norge</b> .....	33
Mattias Gustafsson & Atle Dagestad	
<b>Kemiska bekämpningsmedel i grundvatten – resultat och trender under tre decennier</b> .....	34
Mikaela Gönczi, Gustaf Boström & Jenny Kreuger	
<b>A novel approach for groundwater assessment and predictions – improving the representativeness of sparse observation networks and enhancing model results</b> .....	36
Ezra Haaf & Roland Barthel	
<b>Strategi för att skydda Europas vattenresurser och exempel på rekommendationer på åtgärder</b> .....	37
Anneli Harlén	
<b>Värderingsprojektet – värdering av Sveriges grundvattenförekomster</b> .....	38
Björn Holgersson, Magdalena Thorsbrink, Jakob Nisell & Peter Dahlqvist	
<b>Added value of hydrogeological information in the case of PFA's contamination</b> .....	39
Elisabeth Häggquist	
<b>Arsenik i mark, grundvatten och ytvatten i två svartskifferområden</b> .....	41
Gunnar Jacks, Prosun Bhattacharya & Zdenka Slejkovec	
<b>3D geological modelling of the Uppsala esker – a tool for analysis of Uppsala's drinking water source</b> .....	42
Eva Jirner, Duncan McConnachie, P.-O. Johansson, Håkan Djurberg, Philip McCleaf, Angelica Hummel & Sven Ahlgren	
<b>Beslutsstöd för hantering av mikrobiella risker i grundvattensystem för dricksvattenproduktion – koncept och ramverk</b> .....	43
Viktor Johansson, Lars Rosén, Andreas Lindhe, Johan Åström, Ekaterina Sokolova & Lars-Ove Lång	
<b>Tid för bättre vatten!</b> .....	44
Björn Lagerdahl, Carola Lindeberg, Malin Naess, Malin Petterson & Maria Sundberg	
<b>Användning av konceptuella hydrogeologiska modeller i samband med infrastrukturprojekt</b> .....	45
Ola Landin	
<b>Grundvattenbildningens storlek i sandig silt</b> .....	46
Magnus Liedholm	
<b>Värdet av grundvattenkontroll utifrån en systemanalys</b> .....	47
Magnus Liedholm	
<b>Saltvatteninträngning vid uttag av grundvatten från kustzon</b> .....	48
Johanna Lithén & Karin Törnblom	
<b>Analysis of groundwater level changes and land subsidence in Gothenburg, SW Sweden</b> .....	49
Johanna Ljungdahl & Roland Barthel	
<b>Hur når vi miljö kvalitetsmålet <i>Grundvatten av god kvalitet</i>?</b> .....	50
Lars-Ove Lång, Helena Dahlgren, Lena Maxe, Björn Holgersson, Karin Grånäs & Hanna Wåhlén	
<b>Järnvägsprojektet Götalandsbanan – geologisk och hydrogeologisk information från SGU</b> .....	51
Lars-Ove Lång, Åsa Lindh, Ulf Bergström, Thomas Eliasson, Mats Engdahl, Cecilia Jelinek, Lena Lundqvist, Lena Persson & Otto Pile	
<b>Grundvattennivåns betydelse för grundvattenkvaliteten i enskilda brunnar</b> .....	52
Lena Maxe	



<b>Riskkartering av bekämpningsmedel med modellen MACRO-SE</b> .....	53
Julien Moeyss, Mikaela Gönczi, Gustaf Boström, Nicholas Jarvis & Jenny Kreuger	
<b>Fördröjd återhämtning av avrinning efter grundvattenpåverkan från uttag i kristallin berggrund</b> .....	55
Fredrik Mossmark & Lars O. Ericsson	
<b>Identifiering och prioritering av vattenresurser i vattenförsörjningsplaner med exempel från Norrbottens län</b> .....	57
Anna Mäki & Hanna Östrén	
<b>Tracing sources of ammonium in reducing groundwater in Vietnam by means of stable nitrogen isotope (<math>\delta^{15}\text{N}</math>) values</b> .....	58
Jenny Norrman & Charlotte J. Sparrenbom	
<b>Detailed geological modelling in urban areas focused on structures relevant to the near surface groundwater flow in the context of climatic changes and surface water recharge</b> .....	59
Tom Martlev Pallesen, Niels-Peter Jensen, Torben Bach, Le Thanh Vu & Susie Mielby	
<b>Lokaliseringsprincipen ur ett verksamhetsutövarperspektiv – vilka utredningar krävs och hur hanteras juridiska utmaningar?</b> .....	60
Pia Pehrson	
<b>Better status control, characterisation and understanding of our water resources</b> .....	61
Charlotte J. Sparrenbom Roland Barthel, Jeffrey Lewis & Peter Dahlgvist	
<b>Delimitation and monitoring of pollutants with direct current induced polarization – a new opportunity</b> .....	62
Charlotte Sparrenbom, Sofia Åkesson, David Hagerberg, Sara Johansson, Torleif Dahlin & Henry Holmstrand	
<b>Conceptual modelling tools for pollution and land management</b> .....	64
Rodney L. Stevens & Enuvie G. Akpokodje	
<b>Riskhantering vid grundvattensänkning i sättningskänsliga områden</b> .....	65
Jonas Sundell & Lars Rosén	
<b>Grundvattnets ekosystemtjänster och deras ekonomiska värden</b> .....	66
Tore Söderqvist, Andreas Lindhe, Lars Rosén & Gerda Kinell	
<b>Påverkan på grundvattennivåer till följd av jordskalv år 2008 – Stora Herrestad, Ystad kommun, Skåne län</b> .....	67
Esbjörn Tagesson & Patrik Lissel	
<b>På gång i arbetet med grundvattenberoende ekosystem</b> .....	69
Magdalena Thorsbrink, Björn Holgersson & Peter Dahlgvist	
<b>Råvatten- och dricksvattenkvalitet – likheter och skillnader</b> .....	70
Bo Thunholm, Lars-Ove Lång, Robin Djursäter, Lena Maxe & Liselotte Tunemar	
<b>Grundvatten, konstgjort grundvatten och ytvatten – hur skiljer sig vattenkvaliteten?</b> .....	71
Bo Thunholm, Lars-Ove Lång, Robin Djursäter, Lena Maxe & Liselotte Tunemar	
<b>Helikopterburen kartläggning, SkyTEM-undersökningar på Gotland – exempel från Fårö</b> .....	72
Carl-Axel Triumf, Peter Dahlgvist, Lena Persson, Mehrdad Bastani, Mikael Erlström, Flemming Jørgensen, Henrik Thulin-Olander, Mattias Gustafsson, Magdalena Thorsbrink, Kristian Schoning & Phil Curtis	
<b>Så ska vi få bättre kunskap om grundvattnets kvalitet</b> .....	73
Liselotte Tunemar, Jennie Abellsson, Johan Carlström, Lars-Ove Lång, Lena Maxe, Jenny McCarthy, Nils Ohlander, Fredrik Theolin, Bo Thunholm, Åsa Tureklev & Emil Vikberg	
<b>Grundvattennivåer och klimatförändringar – vad säger de nya klimatscenerierna?</b> .....	74
Emil Vikberg, Bo Thunholm, Magdalena Thorsbrink & Joel Dahne	
<b>Grundvatten i kristallint berg – utvärdering av SGUs information</b> .....	75
Carl-Henric Wahlgren, Claes Mellqvist, Kajsa Bovin, Cecilia Jelinek, Lena Persson, Bo Thunholm & Hanna Wåhlén	
<b>Verktyg för mikrobiell riskanalys (MRA) av dricksvattenbrunnar i närheten av avloppsanläggningar</b> .....	76
Johan Åström, Andreas Lindhe, Lars Rosén & Lars-Ove Lång	

# Danish groundwater mapping and geodata management

Torben Bach<sup>1</sup>, Tom Martlev Pallesen<sup>1</sup>, Niels-Peter Jensen<sup>1</sup>, Rolf Johnsen<sup>2</sup> & Tom Hagensen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>11-GIS A/S, Voldbjerg vej 14A, 1.sal, 8240 Risskov, Denmark

<sup>2</sup>Fredricia kommune, Gothersgade 20, 7000 Fredricia, Denmark

<sup>3</sup>Danish Nature Agency, Haraldsgade 53, 2100 Copenhagen Ø, Denmark

## Introduction

In Denmark, a 17-year campaign to map national groundwater is concluding in 2015. During this period, new geophysical methods have been developed, new standards have been established, and new software tools developed for data processing and geological modelling.

The developed Geological models are now being accessed and used by geoscientists in municipalities, water-works, regional government, and state authorities on a daily basis to monitor, develop, and manage the groundwater resource in many different contexts. To enable easy access to the developed models and data, additional tools and functionalities are currently being developed. In this presentation we demonstrate the integrated system used in the Danish mapping campaign, and present some of the new tools currently being developed for building, maintaining, and distributing updated geological information.

## Geodata management

### An integrated system for groundwater mapping

Figure 1 presents the integrated system developed for the Danish mapping campaign. A set of databases and software tools combines into an integrated system for handling geophysical data, conducting 3D Geological modelling and subsequent hydrological modelling (Refsgaard et al. 2010). The GERDA database stores geophysical information, and ensures traceability in the mapping process. The Jupiter database stores borehole data, while the Model Database stores the interpreted geological models. These databases

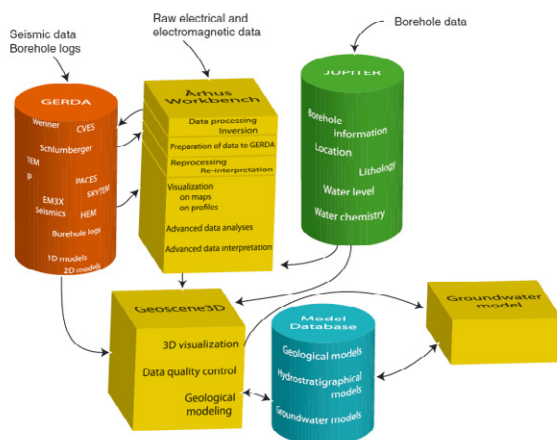


Figure 1. Sketch of the integrated system. A combination of databases and software tools. From Refsgaard et al. 2010.

are developed and maintained centrally by GEUS, and free access to all data and model is provided through a web interface. The Aarhus Workbench is a geophysical software system, developed by the Hydro Geophysics at the University of Aarhus. In the system, the geophysicist performs processing and inversion of collected geophysical data, and creates visualizations of the results. Results are stored in the GERDA database. GeoScene3D is a 3D geological modelling software, incorporating all available information, including geophysics, borehole information, chemical information and other geologically relevant information. In this software, the geologist constructs the geological model, in a full 3D environment. These models are subsequently either developed further into hydrological models, or used directly by the geoscientists in the municipalities, waterworks, regional governments and similar, in the management of the groundwater resource.

### New developments for groundwater management

As the management of the groundwater resource moves from an active mapping phase to a more passive management and maintenance face, a new set of requirements are posed. The variety of stakeholder seeking access to the gathered information, makes it imperative to develop an easy to use and seamless access to developed models and collected data. To meet this demand, IGIS has developed the GeoCloud, consisting of a combination of web services and a web platform.

The access to geological models has been made possible through the internet by GEUS, who provide a web interfaces accessing the Model Database. Here full, official and

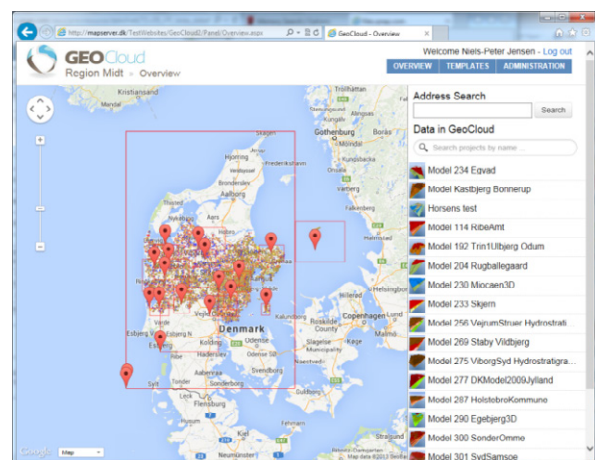


Figure 2. Web interface to the GeoCloud web portal for Central Region, Denmark. Available models and background data are made searchable through a web map and through alphanumeric searches.

quality controlled geological models can be downloaded and imported e.g. into GeoScene3D for further use. Recently however, a growing local need for an additional repository of other types of models, e.g. models of lesser quality, models containing sensitive or commercial aspects, models not related to groundwater etc., has led to the development of an organisation specific GeoCloud web portal, integrated with Geo Scene3D. This provides organisations access to a similar functionality, but on a closed and proprietary format. The users may here grant access to other, external users on a project level, ensuring the integrity needed in sensitive or commercial projects.

Another demand has been to enable fast access to the background data stored in GERDA and Jupiter. To meet this demand, a suite of web-services has been developed and installed together with the official GERDA and Jupiter databases. From these web services, users can download boreholes and geophysical models, seamlessly to new GeoScene3D projects, saving time as well as ensuring the usage of the latest information available. Furthermore, a series of terrain

models and map layers have been made accessible through the GeoCloud services. In combination these tools provides the end user the tools to overview and capture all available information in an area within minutes, directly through the GeoScene3D software, accessing the GeoCloud directly.

In this presentation we will present the Danish system for data management, and the new developments in GeoScene3D and GeoCloud.

### **Acknowledgements**

We wish to thank the partners from the Central Denmark Region and the Danish Nature Agency for corporation and their continuing support of the development of the GeoCloud and GeoScene3D software.

### **References**

Refsgaard, J.C., Højbjerg, A.L., Møller, I., Hansen, M. & Søndergaard, V., 2010: Groundwater modelling in integrated water resources management – Visions for 2020. *Groundwater* 48, 663–648.

# PFASs in groundwater – a risk for Swedish drinking water?

Stefan Banzhaf<sup>1</sup>, Jeffrey Lewis<sup>2</sup>, Charlotte Sparrenbom<sup>3</sup> & Roland Barthel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Earth Sciences, University of Gothenburg, Box 460, 405 30 Göteborg

<sup>2</sup> Tyréns AB, Västra Norrlandsgatan 10B, 903 27 Umeå

<sup>3</sup> Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, 223 62 Lund

## What are PFASs?

Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) are a group of anthropogenic environmental pollutants that are found worldwide in the aquatic environment, wildlife and humans. PFASs have been produced since the 1950s and have multiple industrial uses, e.g. as water repellents in clothing, paper coatings or fire-fighting foam (Paul et al. 2009). The compounds are highly mobile in the aquatic environment, persistent and regarded as bioaccumulative (Trautmann et al. 2015).

## PFASs in drinking and groundwater

PFASs-contaminated food and drinking water are assumed to contribute significantly to PFASs uptake of humans (Fromme et al. 2009). In general, conventional drinking water treatment does not fully remove PFASs. Sources for PFASs in groundwater include diffuse sources such as wastewater treatment plants and point sources like landfills and firefighting training areas (Eschauzier et al. 2013).

## PFASs occurrence in Swedish waters

In Sweden, former and current firefighting training areas are considered to be the major (point) sources for contamination of groundwater and surface water by PFASs containing firefighting foams. Hotspots of PFASs contamination are mainly concentrated around airports, both commercially operated and those run by the Swedish Armed Forces (Ahrens et al. 2014, Berglind et al. 2013).

The first environmental screenings for PFASs were carried out already 10 years ago in Sweden (Woldegiorgis et al. 2006). However, they did not receive much public attention. This changed dramatically in 2013, when a local groundwater based waterworks (Brantafors in Kallinge, Ronneby municipality) had to shut down due to PFASs concentrations of up to 10,000 ng/l in drinking water leaving the waterworks (Jakobsson et al. 2014).

## Drinking and groundwater in Sweden

Although a survey by Svenskt Vatten carried out in 2014 (Holmström et al. 2014) suggests that groundwater is less contaminated than surface water or areas of artificial recharge, groundwater is still significantly affected by PFASs. This is a serious concern as 50% of Sweden's drinking water comes from groundwater. Moreover, exposure via contaminated drinking water was identified as being responsible for increasing PFASs concentrations in blood serum from young women in Uppsala (Gyllenhammar et al. 2015). The widespread occurrence of PFASs contamination of groundwater,

the large number of Swedes who obtain their potable water from groundwater sources and the negative health effects associated with its consumption suggest that PFASs is a risk for Swedish drinking water.

Here we present a review of the current status of PFASs contamination of Swedish groundwater and compare this to the situation in Denmark and Germany.

## References

- Ahrens, L., Norström, K., Viktor, T., Cousins, A.P. & Josefsson, S., 2014: *Stockholm Arlanda Airport as a source of per- and polyfluoroalkyl substances to water, sediment and fish*. Chemosphere.
- Berglind, R., Helldén, J., Johansson, N., Liljedahl, B. & Sjöström, J., 2013: *Perfluorerade ämnen i jord, grundvatten och ytvatten – Riskbild och åtgärdsstrategier*. Försvarsmakten.
- Eschauzier, C., Raat, K.J., Stuyfzand, P.J. & De Voogt, P., 2013: Perfluorinated alkylated acids in groundwater and drinking water: Identification, origin and mobility. *Science of The Total Environment* 458–460(0).
- Fromme, H., Tittlemier, S.A., Völkel, W., Wilhelm, M. & Twardella, D., 2009: Perfluorinated compounds – Exposure assessment for the general population in western countries. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 212(3).
- Gyllenhammar, I. et al., 2015: Influence of contaminated drinking water on perfluoroalkyl acid levels in human serum – A case study from Uppsala, Sweden. *Environmental Research* 140.
- Holmström, K., Wetterstrand, S. & Hedenberg, G., 2014: *Nationell screening av perfluorerade föreningar (PFAS) i dricksvatten*.
- Jakobsson, K., Kronholm Diab, K., Lindh, C., Persson, B. & Jönsson, B., 2014: *Exponering för perfluorerade ämnen (PFAS) i dricksvatten i Ronneby kommun*.
- Paul, A.G., Jones, K.C. & Sweetman, A.J., 2009: A first global production, emission, and environmental inventory for perfluorooctane sulfonate. *Environmental Science & Technology* 43(2).
- Trautmann, A.M., Schell, H., Schmidt, K.R., Mangold, K.M. & Tiehm, A., 2015. Electrochemical degradation of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in groundwater. *Water Science and Technology* 71(10), 1569–1575.
- Woldegiorgis, A. et al., 2006: *Results from the Swedish National Screening Programme 2005: Subreport 3: Perfluorinated Alkylated Substances (PFAS)*.

# ”Sub-Urban” – transforming relationships between geoscientists and urban-decision makers

Johannes de Beer<sup>1</sup>, Diarmad Campbell<sup>2</sup> & Peter Dahlgvist<sup>3</sup>

*1 Geological Survey of Norway (NGU), PO-box 6315 Sluppen, 7491 Trondheim, Norway*

*2 British Geological Survey (BGS), Murchison House, West Mains Road, Edinburgh EH9 3LA, United Kingdom*

*3 Geological Survey of Sweden (SGU), Killiansgatan 10, 223 50 Lund, Sweden*

## Introduction

Urbanisation and its sustainability are the focus of the European Cooperation in Science and Technology (COST) Action TU1206 called “Sub-Urban – A European network to improve understanding and use of the ground beneath our cities”. This Action aims to transform relationships between experts who develop urban subsurface geosciences knowledge – principally national Geological Survey Organisations (GSOs), and those who can most benefit from it – urban decision makers, planners, practitioners and the wider research community.

## Organisation

Under COST’s Transport and Urban Development Domain, Sub-Urban has established a network of GSO’s and other researchers in 28 countries, to draw together and evaluate collective urban geosciences research in 3D/4D characterization, prediction and visualization.

## Research focus

Existing city-scale 3D/4D model exemplars are being developed further by partners in the UK (Glasgow, London), Germany (Hamburg) and France (Paris). These draw on extensive ground investigations and other data. Model linkage enables prediction of groundwater, heat, sustainable drainage

systems and engineering properties. These models will provide valuable tools for more holistic urban planning; identifying sub-surface opportunities and saving costs by reducing uncertainty of ground conditions.

## Interactions and cooperations

Knowledge exchange between research partners and City-partners has facilitated new city-scale subsurface projects. Oslo (Norway) and Odense (Denmark) lead with comprehensive multi-disciplinary teams engaged in data management and modelling of the shallow subsurface. Groundwater management and sustainable urban development are leading arguments for both cities to establish dedicated subsurface projects. Rotterdam (the Netherlands) is pioneering innovative methods of knowledge transfer between its geosciences specialists and planners. In Sweden, the Geological survey of Sweden and the cities of Malmö and Göteborg are discussing projects concerning monitoring strategies and city scale groundwater modelling. With training facilitated and initiated through Sub-Urban, other cities will follow.

## More information

[www.sub-urban.eu](http://www.sub-urban.eu)

[http://www.cost.eu/COST\\_Actions/tud/Actions/TU1206](http://www.cost.eu/COST_Actions/tud/Actions/TU1206)

# Bergtäkt i en hållbar samhällsutveckling

Elodie Bénac

Sweco Environment AB, Skånegatan 3, 411 40 Göteborg

## Vattenfrågan i bergtäkter

Vårt moderna samhälle utvecklas konstant och behovet av krossmaterial är ständigt högt. Utbyggnad och underhåll av infrastruktur, bebyggelse och industrier ger gynnsamma förutsättningar för både befintliga och nya bergtäkter.

Bergtäkter är dock inte ett okontroversiellt ämne, speciellt när det gäller grundvattenfrågan. Under senare år har problematiken kring vatten blivit både större och mer komplex för verksamhetsutövare som måste besvara både myndigheter som är mer och mer medvetna om hur naturen och vattnet kan påverkas, och privatpersoner som är mer och mer oroliga för sina närliggande fastigheter och vattentäkter.

## Täktverksamhet som vattenverksamhet

Täktverksamhet utgör per definition miljöfarlig verksamhet (9 kap 1 § pkt 3 miljöbalken) och är tillståndspliktig enligt 9 kap 6 § miljöbalken. I vissa fall när grundvatten tränger in i brytningsområdet eller när man bryter under grundvattenytan är täktverksamhet vattenverksamhet. Vattenverksamhet är tillståndspliktig enligt 11 kap miljöbalken såvida det inte är uppenbart att varken allmänna eller enskilda intressen skadas genom verksamhetens inverkan på vattenförhållandena.

När pumpning och bortledning av grundvatten sker i en täkt uppstår en lokal grundvattensänkning i och kring täkten som följd av verksamheten. Generellt sett styrs grundvattensänkningens omfattning av den vattenförande förmågan hos förekommande bergarter, grundvattenytans läge, grundvattenbildningen och grundvattensänkningens storlek. Förekomst inom påverkansområdet av allmänna intressen, främst våtmarker och andra grundvattenberoende ekosystem, eller enskilda intressen, såsom enskilda dricksvattentäkter eller energibrunnar, avgör om tillstånd behövs sökas. Om tillstånd inte söks måste verksamhetsutövare kunna bevisa tydligt att ingen påverkan sker till följd av grundvattenavsänkningen.

Utbredning av påverkansområdet och uppföljning av påverkansomfattning ska kontrolleras genom att fortlöpande mäta grundvattennivåerna i och kring täkten. Detta brukar ske genom avläsning i grundvattenrör samt i närliggande privata brunnar. Eftersom grundvattennivån varierar naturligt med årstider bör mätning ske flera gånger utspritt över året.

## Vikten av bra undersökningar

Oavsett om tillstånd för vattenverksamhet har sökts eller inte, kan olika typer av vattenrelaterade problem uppstå under driften av en bergtäkt. Dessa problem, om de inte utreds grundligt, kan drabba både de närboende och verksamhetsutövaren.

Ett av de vanligaste problem som kan uppstå gäller vattenföringen till närliggande dricksvattenbrunnar. När av-

sänkningstratten ökar i takt med att brytningen framskrider djupare kan de närboende drabbas av antingen minskad vattenföring till sina brunnar eller, i värsta fall, sinande brunnar. Att detta inte har förutsetts kan bero på att påverkansområdet är större än vad man trodde eller att man helt enkelt saknar underlag om hur avsänkningen ser ut.

Verksamhetsutövaren kan försöka att med egna medel åtgärda denna typ av problem genom att bygga en infiltrationsanläggning och försöka att på så sätt återskapa vattenbalansen i området. Utan en noggrann hydrogeologisk utredning kan anläggningens lokalisering, utformning och infiltrationsflöde vara orimliga och orsaka ytterligare problem. En bra kunskap om den geologiska uppbyggnaden i området är också viktig för att undvika framträngning av grundvatten i ytan och eventuella översvämningar.

Vikten av undersökningar och utredningar är speciellt stor när verksamhetsutövare hamnar i tvist med antingen de närboende eller myndigheterna. En bergtäkts närvaro kan orsaka både oro och missnöje, och anklagelserna mot verksamheten kan ibland vara missvisande eller felaktiga. I ett sådant fall måste verksamhetsutövare kunna försvara sig genom att bevisa att verksamheten inte orsakat de problem som den är anklagad för. Undersökningar och utredningar bör göras i ett tidigt skede för att inte påverka verksamheten när den är i drift. Pumpning och bortledning av grundvatten från täkten måste ofta avbrytas medan utredningen görs, vilket påverkar täktens drift t.ex. genom att sprängning inte kan utföras som vanligt. Detta kan drabba verksamhetsutövare nämnvärt både tidmässigt och ekonomiskt.

## Sammanfattning

Det ligger i allas intresse att utföra grundliga och noggranna hydrogeologiska undersökningar och utredningar. Dessa kan användas som underlag för en tillståndsansökan, ge möjlighet för myndigheterna att se till att verksamhetsutövaren har koll på sin verksamhet och att utföra tillsyn, samt förebygga eventuella problem som kan uppstå och åtgärda dessa i ett tidigt skede genom t.ex. infiltration.

Hydrogeologiska undersökningar, utredningar och kontrollprogram kan dessutom utgöra en trygghet för verksamhetsutövaren som på så sätt snabbt och tydligt kan besvara de eventuella klagomål som kan komma under driften och kunna motbevisa missvisande eller felaktiga anklagelser.

## Referenser

Miljösamverkan Västra Götaland, 2011: *Handledning för täktutredning*.

Sveriges geologiska undersökning: *Checklista om bergtäkter*. [www.sgu.se](http://www.sgu.se).

# A conceptual hydrogeological model of the Gothenburg city area with a special focus on groundwater recharge

Hannah Berg, Johanna Engelbrektsson & Roland Barthel

Department of Earth Sciences, University of Gothenburg, Box 460, 405 30 Göteborg, Sweden

## Introduction

Understanding the interaction between urban development and groundwater is important since urban environments can change groundwater recharge, groundwater flow dynamics, local water balances and contribute to contamination by metals and industrial compounds (Lerner 2002, Salvadore et al. 2015). Therefore it is vital to understand the hydrogeological system and its relation to the urban structures in order to meet the environmental goals, suggest solutions to technical and environmental problems, address climatic change and other urban development challenges.

A widely unsolved question is the mechanisms of groundwater recharge in urban areas. In Gothenburg (Sweden), deep valleys covered by a thick layer of clay characterises the geology and can cause a number of geotechnical challenges. The clay layer separates the upper unconfined and the lower confined aquifer and thus controls the recharge to the latter.

The results presented here are from Berg & Engelbrektsson (2015) where the aim is to create a conceptual hydrogeological model of an area in Gothenburg (neighbourhoods of Haga and Linné) which in turn will be used to evaluate mechanisms of groundwater recharge to the lower aquifer. An overwhelmingly large amount of data is available for creating such a model but much of this data is not immediately accessible or readily usable (because not in digital format, for instance). Therefore the study is designed as a feasibility study, showing foremost the options and potentials to create and apply such a model.

## Method

The conceptual model is based on data and information gathered from actors, authorities and literature studies. Views, ideas and further information regarding groundwater recharge in urban areas and hydrogeological models were collected through interviews and questionnaires with groundwater professionals who are mainly working in Gothenburg. The purpose of the interviews and questionnaire is to determine what the general view on the groundwater situation in urban areas is but also to establish a network for future collaborations between practitioners, researchers, teachers and students dealing with hydrology/hydrogeology around Gothenburg and in Sweden.

A 3D-model based on interpolated stratigraphic layers and potentiometric surface was created using Kriging and Spline with barriers interpolation methods in Surfer® 11 and ArcMap 10.1.

## Results and discussion

The stratigraphy of the conceptual model consists of four geological units: fill material, clay, friction material and bedrock. In some areas, generally close to the bedrock outcrops where the sediments are thinner, the upper and lower aquifers can be in contact with each other. It is also possible that the aquifers are in contact with each other via underground constructions, fractures in the clay or groundwater observation wells, boreholes and soundings penetrating the clay. Both the fill and friction material vary in thickness between 0 and 15 m and are thickest in the central parts of the valleys. The thickness of the fill material increases towards Göta Älv. In narrow valleys and around Skansen Kronan the friction material has a thickness of less than 1 m which can restrict the groundwater flow in these places.

Based on interviews, questionnaires and literature studies the conventional view of groundwater recharge to the lower aquifer in the Gothenburg urban area today can be summarized to the following: the main mechanisms of recharge are in the contact zones between the bedrock and friction material and fractures in the bedrock and to a smaller degree through vertical infiltration. The general view (also based on interviews and questionnaires) of the amount of the annual precipitation in Gothenburg (roughly around 800 mm/yr) reaches the lower aquifer is 140 mm/yr.

The potentiometric surface of the lower aquifer indicates the elevation and direction of groundwater flow which generally occurs northward, from higher areas in the south towards the Göta Älv in the north. Areas with higher potentiometric pressure could indicate possible infiltration areas and in the focus area these areas generally coincide with the topographic highs.

## References

- Berg, H. & Engelbrektsson, J., 2015: *A conceptual hydrogeological model of the Gothenburg city area with a special focus on its application to determine groundwater recharge – a feasibility study*. Master Thesis in preparation, University of Gothenburg.
- Lerner, D.N., 2002: Identifying and quantifying urban recharge: a review. *Hydrogeology Journal* 10, 143–152.
- Salvadore, E., Bronders, J. & Batelaan, O., 2015: Hydrological modelling of urbanized catchments: A review and future directions. *Journal of Hydrology* 529, 62–81.

# Nedbrytning av trä i mark och vatten

Charlotte Gjelstrup Björdal

Institutionen för Marina vetenskaper, Göteborgs Universitet, Box 460, 405 30 Göteborg

## Tränedbrytning

Trä har genom människans historia varit ett av de främsta byggnadsmaterialen. Trä har en naturligt hög styrka, väger lite och är lätt att bearbeta. I äldre städer runt om i världen, och även i Sverige, finns många bygganden som ”står på” grundpålar och rustbäddar av trä. Riksdagshuset i Stockholm vilar på uppskattningsvis 16 000 pålar av gran och furu (fig. 1).

Trä är ett organiskt material, där de kemiska byggstenarna är cellulosa, hemicellulosa och lignin. Dessa beståndsdelar är föda för många biologiska organismer som genom avancerade processer kan bryta ner trä så att det förmultar och återgår till naturens kretslopp.

## Svampar i markkontakt

Mikroorganismer står för huvudparten av den aeroba nedbrytning som vanligtvis drabbar trämaterial som är i markkontakt eller befinner sig ovan mark i fuktig miljö. Vitröta och brunröta är två grupper av rötsvampar, som i dessa miljöer aggressivt kan bryta ner trä på kort tid.

## Bakterier i vattendränkt miljö

I vattendränkt miljö, där syrehalten är väldigt låg, ser nedbrytningsprocessen annorlunda ut. Här är specialiserade tränedbrytande bakterier aktiva. Även en vis typ av svampangrepp (soft rot) kan förekomma när syrehalten är relativt hög. Den bakteriella nedbrytningen sker mycket långsamt. Eftersom träets styrka och stabilitet är direkt relaterad till nedbrytningen, avtar styrkan samtidigt. Den ofta mycket långsamma processen är orsak till att träpålar kan hålla i många hundra år. Den lokala miljön runt pålarna är till-

sammans med träslag samt tid och djup för exponering av mikroorganismer avgörande för hur fort nedbrytningen går.

## Erosionsbakterier

Erosionsbakterier kallas bakterier som bryter ner trä i syrefattig vattendränkt miljö. Dessa upptäcktes i mitten av 1980-talet av svenska forskare. Sen dess har man försökt att lära sig mer om denna grupp av bakterier. Idag vet man att de finns i alla typer av jordar (inklusive mossar och våtmarker) och även i hav och sjöar. De är aktiva på stora djup, men angreppen avtar i hastighet ju djupare träet är exponerat i marken. Troligen är detta direkt kopplat till syrehalten. De angriper alla typer av träslag, dock är några träslag mer beständiga än andra.

Erosionsbakterierna orsakar en nedbrytning av de cellulosa-rika träfibrerna genom en erosion av cellväggen – härav namnet (fig. 2). Träet blir mjukt men behåller sin form så länge träet är vått.

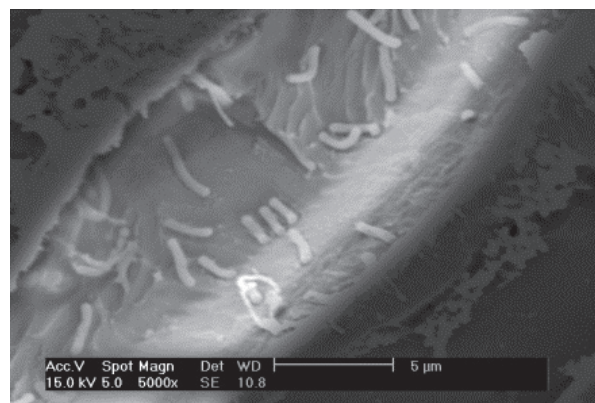
I EU-projekt BACPOLES (2002–2005) försökte man identifiera erosionsbakterierna och kom fram till att de troligen tillhör gruppen Flavobakterier och Cytophaga, som är välkända i naturen. Mycket grundforskning återstår för att kunna beskriva dessa bakterier bättre och för att hitta metoder som begränsar deras skadliga effekt på grundpålar och arkeologiska träfynd.

## Grundvattenvariationer

Varierande grundvattennivå och dräneringar påverkar träets hållbarhet negativt. Påltopp och rustbäddar som plötsligt befinner sig i mer syrerika miljöer kan få nya kraftiga angrepp av soft rot svampar. I värsta fall, om träet inte längre är vattendränkt, kan brunröteangrepp ta vid. Det är därför viktigt att se till att vattennivån eller den vattendränkta miljön under byggnader alltid håller träet konstant vått.



Figur 1. Grundpåle tas upp intill Riksdagshuset för att undersöka dess skick och nedbrytningsgrad. Foto: T. Nilsson.



Figur 2. Träfiber angripen av erosionsbakterier. Foto: C. Björdal.



### Erfarenheter från citybanan

I samband med projektering av Citybanan i Stockholm, undersöktes ett stort antal pålar från hus i olika stadskvarter. Typ av angrepp och angreppsgrad undersöktes i mikroskop. Denna information användes som underlag för beräkningar av kvarvarande styrka i pålarna och en uppskattning av byggnadernas stabilitet och risk för sättningar.

### Litteratur

Björdal, C., Nilsson, T. & Daniel, G., 1999: Microbial decay of waterlogged archaeological wood found in Sweden. *International Biodegradation and Biodeterioration* 44, 63–71.

Björdal, C., Daniel, G. & Nilsson, T., 2000: Depth of burial, an important factor in controlling bacterial decay of waterlogged archaeological poles. *International Biodegradation and Biodeterioration* 45, 15–26.

Björdal, C. & Nilsson, T., 2002: Waterlogged archaeological wood – a substrate for white rot fungi during drainage of

wetlands. *International Biodegradation and Biodeterioration* 50, 17–23.

Blanchette, R.A., Nilsson, T., Daniel, G. & Abad, A.R., 1990: Biological degradation of wood. I.R.J. Rowell & R.J. Barbour (Eds.): *Archaeological wood*. American Chemical Society, Washington DC, 141–174.

Eaton, R.A. & Hale, M.D.C., 1993: *Wood. Decay, pests and protection*. Chapman & Hall, London.

Nilsson, T. & Björdal, C.G., 2008: Culturing wooddegrading erosion bacteria. *International Biodeterioration and Biodegradation* 61, 3–10.

Pedersen, N.B., Björdal, C.G., Jensen, P. & Felby, C., 2013: Bacterial degradation of archaeological wood in anoxic waterlogged environments. I.S.E. Harding (Ed.): *Stability of complex carbohydrate structures. Biofuel, foods, vaccines, and shipwrecks*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 160–187.

# Gaser i grundvatten: frågeställning och alternativa analysmetoder

Anders Blom, Jessica Johansson & Alexandra Chukharkina  
*Microbial Analytics Sweden AB, Mölnlycke Fabriker 9, 435 35 Mölnlycke*

## Gaser i grundvatten

Gaser i vatten påverkas av både tryck och temperatur. Vid minskad temperatur och ökat tryck ökar lösligheten av gaser. Grundvatten kan innehålla upp till 15 gaser och deras sammansättning varierar med djupet. I vissa fall är det viktigt att veta vilka gaser och i vilka halter av dessa som finns i vatten. Till exempel, måste man hålla koll på vilken nivå ligger syre och koldioxid i sjövattnet. Grundvattengaser kan användas av bakterier vilket kan leda till oväntade konsekvenser.

### $H_2$

Vätgas används gärna av bakterier, som SRB (sulfatreducerande bakterier) eller metanogener. SRB använder den som donor av elektroner, och med hjälp av den kan omvandla sulfat, som finns i vatten, till sulfid. Sulfid i sin tur kan leda till korrosion av metalliska föremål och ledningar, om sådana finns på plats.

### $H_2S$ och $CH_4$

Svavelväte och metan finns på många ställen i grundvattnet. De bildas genom nedbrytning av organiska ämnen under syrefattiga förhållanden, i vissa fall kan även bakterier bilda dem. Förutom det, kan både metan och svavelväte släppas ut i grundvatten där utvinning av skiffergas eller biogen gas pågår.

Båda gaserna ställer till olika problem för ett vattenverk. Förutom dålig lukt kan det, som var nämnt tidigare, orsaka

korrosion. Om man använder filter, kan den blir igensatt av bakterier och slem som minskar halten av syre i vattnet.

## Problematik kring analys av gaser i grundvatten

Gaser lösta i grundvatten, särskilt om vatten taget från större djup där trycket gör att större mängder kan lösa sig, är inte enkla att kvantifiera. Om vattnet analyseras vid atmosfärstryck sker en avgasning och när man till exempel ser på karbonatsystemet är kinetiken i avgasningen oftast snabbare än jämviktskinetiken i lösningen.

En syreselektiv elektrod kan i vissa fall användas på plats i ett trycksatt vatten men för att bestämma mängden koldioxid eller andra gaser är situationen mer problematisk.

Organiska gaser som metan och etan kan inte kvantifieras med vanliga analysmetoder som TOC eller COD.

Genom att provta vattnet på ett sådant sätt att det hålls trycksatt hela vägen till laboratoriet och därefter utföra analys på gaskromatograf kan även flyktiga gaser analyseras. Provets sammansättning påverkas inte av något tryckfall och en analys av till exempel syrgashalt på gaskromatograf innebär en alternativ metod jämför med etablerade rutinanalyser. Då standardanalyserna är avpassade för atmosfärstryck är kunskapen liten om hur relevanta de är för djupborrat grundvatten.

# Oljeförorenat grundvatten: problem vid provtagning och analys

Anders Blom, Jessica Johansson & Alexandra Chukharkina  
Microbial Analytics Sweden AB, Mölnlycke Fabriker 9, 435 35 Mölnlycke

## Olja i vatten som flerfasset

Vid analys av organiska ämnen i vatten står man ofta inför ett system som består av olika faser och som inte enkelt kan beskrivas teoretiskt. Så länge halterna är så låga att man befinner sig på nivåer under deras teoretiska löslighet är situationen enklare, t.ex. har BTEX-föreningar relativt hög löslighet i vatten. Men om ett grundvatten förorenas av en blandning av kolväten, vilket oftast är fallet, uppstår nya problem.

När någon enskild komponent inte längre kan lösa sig fullständigt i vattnet avsätts den som en film på partiklar. För raka kolväten når man tidigt denna kritiska halt. När en sådan film bildas kommer även de mer lösliga kolvätena att påverkas och istället vandra från vattnet till den bildade filmen. Detta har konsekvenser för både provtagning och analys.

Vid provtagningen är det viktigt att få med alla faser i systemet, för att få så jämn fördelning av ämnen i provet, som möjligt. Om ämnen fördelas ojämnt i provet, finns det risk att få opålitliga resultat vid analysen. Till exempel, kan man få en skenbart lägre halt av de flyktiga föreningarna om de hålls kvar i en film jämfört med om de finns fritt i vattnet.

## Bakteriell nedbrytning av förorening

Bildning av oljefilm på partiklar skapar i sin tur bra förutsättningar för bakteriell nedbrytning av föroreningen. Bakteriekolonier sätter sig på partiklar och använder olja som näring, vilket leder till att de ursprungliga kolvätena bryts ner och omvandlas till mer polära organiska ämnen. Lokalt förbrukas syre snabbt, vilket leder till att processerna avstannar på grund av syrebrist. Om man vid provtagningen syresätter vattnet, kommer processerna snabbt igång på nytt och under en kort tid kan föroreningen brytas ner. Denna process kan även pågå under transporten till laboratoriet, vilket kan orsaka för låga resultat vid analysen.

Ovan effekt är beroende av både halter, typ av förorening och partiklar i vattnet samt syretillgång, vilket medför att stora variationer kan förekomma mellan olika provplatser. Om tiden mellan provtagning och analys är tillräckligt lång, kan nedbrytning förändra provets sammansättning till ganska hög grad, och analysresultatet speglar inte den riktiga situationen i vattenfasen (fig. 1).

Vi diskuterar hur man kan bemöta vissa av de här problemen med hjälp av anpassad provtagning och analys.

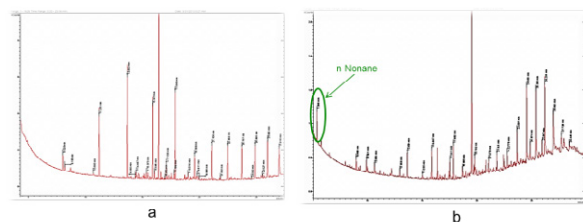
## Problem vid analys av olika typer av prover

Det finns egentligen inte någon universell analysmetod, som kan bli tillämpad till alla typer av oljeförorenade vattenprover. Beroende på typ av olja, kan det finnas mer alifatiska eller mer aromatiska kolväten, mer eller mindre vattenlösliga eller fler flyktiga ämnen. Ämnen som ingår i olja har därför olika egenskaper, vilket påverkar möjlighet att få en fullständig bild om provet. Förutom det, kan även föroreningsgrad spela en stor roll vid provberedning och analys. Väldigt smutsiga prover gör det svårt att få pålitliga resultat på grund av hög bakgrund, samtidigt som en viss del av provet kan förloras vid provförberedning.

En metod kan inte tekniskt ta hänsyn till alla förutsättningar. Det är vanligt att metoden är bra på en typ av olja eller prover, men visar dåliga resultat nästa gång, när provet till exempel är renare, eller det är annan typ av olja som vatten blev förorenat med. För att få så bra och trovärdiga resultat som möjligt, bör analysmetoden anpassas till typ av prover, olja, och helst provtagningstekniken. Alternativet är att använda olika metoder för samma prov.

## Litteratur

Blom, A., Chukharkina, A., Eriksson, L., Johansson, L., Hallbeck, B. & Hallbeck, L., 2013: Analys av mikrobiella parametrar, petroleumkolväten samt nedbrytningsprodukter i tre bergrumsanläggningar, Otterbäck, Asphyttan och Skattkärr. *SGU Diariennr 3431-899/2013*.  
Chukharkina, A., Blom, A., Johansson, J. & Hallbeck, L., 2013: Investigation of diesel biodegradation in decommissioned water-filled underground rock vaults – Chemical characterization. *Abstract, ISEB 2013, Wuhan, China, 2013*, s. 70.



Figur 1. Kromatogrammen visar grundvattenprov som har upparbetats på laboratoriet (a) och i fält (b).

# Vattenförsörjningsplan för Göteborgsregionen

Lena Blom<sup>1</sup>, Jacob Lindkvist<sup>2</sup>, Lars Heineson<sup>2</sup>, Per Sander<sup>3</sup>, Olof Bergstedt<sup>1</sup>, Erik Kärrman<sup>4</sup>, Anders Jansson<sup>5</sup>, Andreas Lindhe<sup>6</sup> & Lars-Ove Lång<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Kretslopp och vatten, Göteborgs Stad, Box 123, 424 23 Angered

<sup>2</sup> Göteborgsregionens kommunalförbund, Box 5073, 402 22 Göteborg

<sup>3</sup> Ramböll, Box 5343, 402 27 Göteborg

<sup>4</sup> SP Urban Water Management, Drottning Kristinas väg 67, 114 28 Stockholm

<sup>5</sup> Ale kommun, 449 80 Alafors

<sup>6</sup> Chalmers tekniska högskola, Institutionen för Bygg- och miljöteknik, 412 96 Göteborg

<sup>7</sup> Sveriges geologiska undersökning, Guldhedsgatan 5A, 413 20 Göteborg

## Göteborgsregionen kraftsamlar kring vattenplanering

Göteborgsregionens kommunalförbund (GR) är en organisation bestående av 13 kommuner (fig. 1). Organisationen arbetar med planeringsfrågor på regional nivå och nyligen har en Vattenförsörjningsplan (GR 2014) tagits fram. Den tidigare Vattenförsörjningsplanen togs fram av GR för drygt 10 år sedan (GR 2003) som främst berörde förekommande vattenresurser (yt- och grundvatten) samt hot mot och skydd av vattenresurserna. Den nya planen har ett bredare perspektiv och har byggts upp utifrån en målstruktur som utgår från visionen: *En trygg och långsiktigt hållbar vattenförsörjning*. En styrka är att planen antagits i samtliga kommuner på politisk nivå.

## Målområden, delmål och åtgärder

Tre målområden har formulerats utifrån visionen. Dessa är *Gott och hälsosamt dricksvatten i kranen*, *Säker tillgång till grundvatten av god kvalitet* samt *Robusta vattenförsörjningssystem*. På nästa nivå har utifrån målområdena nio delmål tagits fram med tillhörande förslag på konkreta åtgärder. Delmålen är: 1) *Tillgång till råvatten av god kvalitet*, 2) *Säkerhet och redundans i produktion och distribution*, 3) *Uthållig förnysetakt*, 4) *Hälsomässigt säkert vatten*, 5) *Bibehålla*

*brukarnas tillit och förtroende*, 6) *Resurseffektiva lösningar*, 7) *Vattenförsörjningsfrågan integrerad i samhällsplaneringen*, 8) *Beredskap för att möta klimatförändringar* och 9) *Tillgång till rätt kompetens*.

## Grundvattnet i vattenförsörjningen

Ytvatten är den helt dominerande råvattenkällan till vattenförsörjning inom GR kommunerna, och då baserat på uttag ur Göta Älv. Grundvatten utnyttjas också av flera kommuner i den kommunala dricksvattenförsörjningen. Det finns ett antal grundvattenmagasin i sand- och grusavlagringar som skulle kunna utnyttjas i större skala. Konstgjord infiltration av ytvatten från dammar eller direkt inducerad infiltration från intilliggande sjöar eller vattendrag skulle i de flesta fall behöva utnyttjas. Under delmålet 1) Tillgång till råvatten av god kvalitet är därför en viktig åtgärd angiven som berör grundvatten som råvattenkälla: *Förstärka resurser för tillsyn av vattenskyddsområden och skapa vattenskyddsområden även för vattenresurser för framtida användning*.

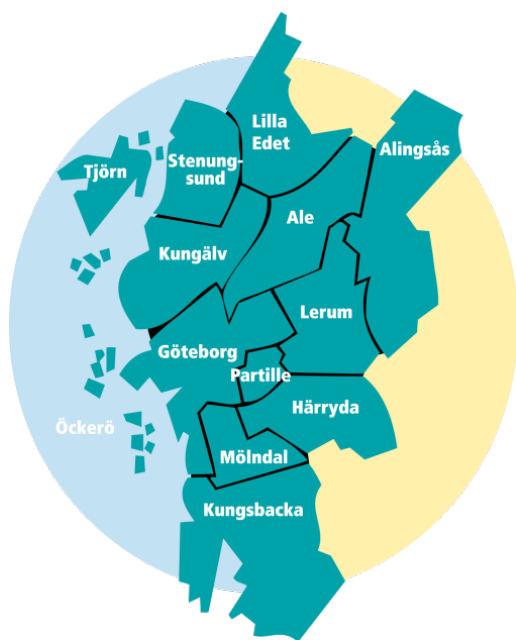
## Vad händer med planen framöver?

Förutsättningar och kunskapsläget förändras och det behövs en regelbunden uppdatering av planen för att göra den aktuell. Förslaget är att planen ska aktualitetsförklaras vart fjärde år, dvs. med samma tidsintervall som kommunernas översiktsplaner. Måläret är 2025 och då kommer hela planen att revideras. För själva uppföljningen föreslås Svenskt Vattens Hållbarhetsindex användas, som i ett delprojekt kommer att utvecklas för att omhänderta frågeställningarna i planen. Arbetet med framtagande av indikatorer och uppföljning är också i linje med målsättningar inom miljömålssystemet samt kan ligga till grund för genomförande av forskningsprojekt. Planen följs upp årligen vilket är förutsättning för att visa att arbetet med planen går i rätt riktning. Målarbetet kommer att samordnas av GR på den regionala nivån men kommunernas arbete med planen på lokal nivå blir viktigt för att nå målen. Likaså är samverkan mellan kommuner en nödvändighet för att förverkliga visionen *”En trygg och långsiktigt hållbar vattenförsörjning i Göteborgsregionen”*.

## Referenser

GR, 2003: *Vattenförsörjningsplan för Göteborgsregionen*. Göteborgsregionens kommunalförbund.

GR, 2014: *Vattenförsörjningsplan för Göteborgsregionen*. Göteborgsregionens kommunalförbund.



Figur 1. Kommuner ingående i GR.

# Targeting arsenic-safe aquifers (TASA) in regions with high arsenic groundwater in Bangladesh and India

Mattias von Brömssen<sup>1</sup>, Prosun Bhattacharya<sup>2</sup>, Gunnar Jacks<sup>2</sup>, Ashis Biswas<sup>2</sup>, Roger Thunvik<sup>2</sup>, Kazi Matin Ahmed<sup>3</sup> & Aziz Hasan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ramböll, Box 4205, SE-102 65 Stockholm, Sweden

<sup>2</sup> Royal Institute of Technology, 100 44 Stockholm, Sweden

<sup>3</sup> University of Dhaka, Dhaka 1000, Bangladesh

## Abstract

Naturally occurring arsenic (As) in Holocene aquifers in Bangladesh have undermined a long success of supplying the population with safe drinking water. Arsenic is mobilized in reducing environments through reductive dissolution of Fe(III)-oxyhydroxides. Studies have shown that many of the tested mitigation options have not been well accepted by the people. Instead, local drillers target presumed safe groundwater on the basis of the colour of the sediments. The objective of the study has thus been focussed on assessing the potential for local drillers to target As safe groundwater and to validate the correlation between aquifer sediment colours and groundwater chemical composition. Drillings revealed two distinct hydrostratigraphic units, a strongly reducing aquifer unit with black to grey sediments overlying a patchy sequence of weathered and oxidised white, yellowish-grey to reddish-brown sediment. The reducing aquifer is characterized by high concentrations of dissolved As, DOC, Fe and  $\text{PO}_4^{3-}$  tot. On the other hand, the off-white and red sediments contain relatively higher concentrations of Mn and  $\text{SO}_4^{2-}$  and low As. Groundwater chemistry correlates well with the colours of the aquifer sediments. Geochemical investigations indicate that secondary mineral phases control dissolved concentrations of Mn, Fe and  $\text{PO}_4^{3-}$  tot. Dissolved As is influenced by the amount of Hfo, pH and  $\text{PO}_4^{3-}$  tot as a competing ion.

In order to replicate the outcomes of the Matlab study results, an investigation was carried out in Chakdaha Block of Nadia district, West Bengal, India to investigate the potentiality of brown sand aquifers (BSA) as a safe drinking water source which is currently being practiced in the area for safe tubewell installation. The results revealed salient hydrogeochemical contrasts within the sedimentary sequence designated as shallow grey sand aquifers (GSA) and the brown sand aquifers (BSA) within shallow depth (<70 m). These two sand groups with all possible variability in the colour shades were analogous to the reducing and the oxidized sequences as delineated aquifers based on the sediment color as perceived by the local driller in Matlab. Although the major ion compositions indicated close similarity, the redox conditions were markedly different in groundwater abstracted from the two group of aquifers. The redox condition in the BSA is delineated to be Mn oxyhydroxide reducing, not sufficiently lowered for As mobilization into groundwater. In contrast,

lower Eh in groundwater of GSA, along with the enrichments of  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  tot, Fe and As reflect reductive dissolution of Fe-oxyhydroxide coupled to microbially mediated oxidation of organic matter as the prevailing redox process causing As mobilization into groundwater of this aquifer type. In some segments of GSA in the Chakadaha region, there were indications of very low redox status, reached to the stage of  $\text{SO}_4^{2-}$  reduction, which might sequester dissolved As from groundwater by co-precipitation with authigenic pyrite. The groundwater of the BSA had consistently low concentration of As with concomitant elevated concentration of Mn.

The outcomes of the TASA project has thus established a scientific knowledge linking relationship between the colour of aquifer sediments, redox conditions and hydrogeochemical parameters that provides unique opportunity for the local drillers in rural communities to target As-safe aquifers for well installations in Bangladesh. The red-brown sand aquifers are the prime targets for As-safe drinking water well installations and the concept could be used to target aquifers in similar environments in other areas with similar hydrogeological setting.

## Acknowledgements

We would like to express our thanks to MISTRA for providing the Idea Support Grant for the project TASA.

## Literature

- Aziz Hasan, M., 2008: Arsenic in alluvial aquifers in the Meghna Basin, southeastern Bangladesh: Hydrogeological and geochemical characterisation. *Royal Institute of Technology TRITA-LWR PhD Thesis 1047*.
- Biswas, A., 2014: Arsenic geochemistry in the alluvial aquifers of West Bengal, India: Implications for targeting safe aquifers for sustainable drinking water supply. *Royal Institute of Technology TRITA-LWR PHD 1071*.
- von Brömssen, M., 2012: Hydrogeological and geochemical assessment of aquifer systems with geogenic arsenic in southeastern Bangladesh: Targeting low arsenic aquifers for safe drinking water supplies in Matlab. *Royal Institute of Technology TRITA-LWR PHD 1063*.
- Jakariya, M., 2007: Arsenic in tubewell water of Bangladesh and approaches for sustainable mitigation. *Royal Institute of Technology TRITA-LWR PhD Thesis 1033*.

# Markens lämplighet utifrån grundvattenförutsättningarna – grundvatten som resurs och grundvatten som hot

Jonas Christensen

Ekologen Miljöjuridik AB, Östra Ågatan 53, 5 tr. 75756 Uppsala

## Är marken lämplig för ändamålet?

I Uppsala pågår arbetet med den nya översiktsplanen, där bl.a i Ulleråkerområdet ska byggas 8 000 nya bostäder. Som en expansiv universitetsstad, som nyligen brutit den magiska gränsen för 200 000 invånare, finns i Uppsala ett skriande behov av bostäder.

Ulleråkerområdet ligger inom vattenskyddat område, på Uppsalasåsen som försörjer hela staden med dricksvatten. Åsen anses vara landets femte värdefullaste vattentäkt. Det har tidigare konstaterats att det finns PFOS i delar av åsen, och en vattentäkt i närheten stängdes för flera år sedan p.g.a. konstaterade rester av bekämpningsmedel i vattnet.

I Uppsala nya tidning hävdar sju geovetare och miljökemister att planförslaget medför en exploatering som i en oacceptabel omfattning kommer att äventyra vattenkvaliteten i åsen. I en uppföljande artikel konstaterar länsstyrelsen att hoten mot åsen kan komma från bränder, bilolyckor med kemikalier, mindre utsläpp under lång tid, dagvatten som förorenas av trafik, biltvättar etc. Majoriteten i stadshuset menar att det går att förena massiv utbyggnad med tillräckligt bra skydd för vattentäkten. Minoriteten ser också ett skriande behov av bostäder, men prioriterar grundvattenskyddet.

Är verkligen marken (Ulleråkerområdet) lämplig för ändamålet (bostadsbebyggelse) med hänsyn till grundvattenförekomsten (i Uppsalasåsen)?

I 2 kap. 2 § PBL står inledningsvis att ”Planläggning och prövningen i ärenden om lov eller förhandsbesked enligt denna lag ska syfta till att mark- och vattenområden **används för det eller de ändamål som områdena är mest lämpade för** med hänsyn till beskaffenhet, läge och behov. Företrädare ska ges åt sådan användning som från allmän synpunkt medför en god hushållning.”

I 2 kap. 5 § sägs att: Vid planläggning och i ärenden om bygglov eller förhandsbesked ska bebyggelse och byggnadsverk lokaliseras till **mark som är lämpad för ändamålet** med hänsyn till ... vattenförhållandena, ... vattenförsörjning, avlopp, att förebygga vattenföroreningar. risken för översvämning ...

Mark- och miljööverdomstolen har uttalat att ”I ärenden om lov och förhandsbesked ska enligt 2 kap. ÄPBL markens *lämplighet* för bebyggelse prövas. Att det är *möjligt* att bygga på en viss plats är således inte tillräckligt. Man har

även uttalat att vid prövning av förhandsbesked ska markens lämplighet för bebyggelse bedömas utifrån markens *naturliga förutsättningar*.” I ett annat mål har MMÖD uttryckt att utgångspunkten för tillämpning av bestämmelsen är att den mark som avses användas för bebyggelse *ska ha naturliga förutsättningar* för att de angivna kraven ska kunna uppfyllas. *Extraordinära åtgärder ska inte behöva vidtas.* (För att göra marken lämplig för bebyggelse).

När det gäller lämplighetskravet, i relation till grundvatten, kan i vart fall följande kriterier lyftas fram:

1. Att det ska finnas tillgängligt dricksvatten.
2. Att exploateringen inte får riskera en grundvattentillgång.
3. Att (grund)vattnet inte får vara en risk för exploateringen.

Det är av central betydelse att kommunen så tidigt som möjligt under planeringsprocessen analyserar frågan om hur grundvattenförekomsten kan komma att påverka om marken är lämpad för den planerade bebyggelsen. Det är också viktigt att kommunen under planeringsprocessen ställer sig frågan om marken överhuvudtaget är lämpad (för den typen av) bebyggelse. Det måste finnas en öppenhet för att marken är olämplig.

Frågan är dock var gränsen ska gå mellan lämplig och olämplig, vem som ska utreda vad och var gränsen mot vad som ska anses vara en extra ordinär åtgärd ska gå? Kan behovet av 8 000 nya bostäder anses motivera:

- extra risker för landets femte värdefullaste grundvattentäkt?
- extra kostsamma åtgärder för att göra marken lämplig för ändamålet.

Blir den rättsliga bedömningen annorlunda om det istället handlar om ett förhandsbesked till endast en enstaka villa, och där utsläpp av BDT-avloppsvattnet anses riskera en närliggande vattentäkt för endast en fastighet?

Resultater bedömningarna enligt 2 kap. PBL i olika resultat beroende på om det rör ett område med höga fastighetspriser eller låga?

# Organiseringen av arbeidet med vanddirektivet i Norge og utfordringer relatert til av implementeringen av grunnvannsdirektivet i norsk vannforvaltning

Atle Dagestad

Norges geologiske undersøkelse, Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim

## Lovgivning og organisering

Norge innlemmet i 2006 EUs rammedirektiv for vann i norsk vannforvaltning gjennom en egen vannforskrift, mens det underliggende grunnvannsdirektiv først ble innlemmet gjennom endringer i vannforskriften i 2010. Vannforskriften etterfølger de krav og forordninger gitt i begge EU direktivene, og gir nasjonale rammer for fastsettelse av miljømål som skal sikre en mest mulig helhetlig beskyttelse og bærekraftig bruk av vannforekomstene. Klima- og miljødepartementet er ansvarlig myndighet for gjennomføringen av vanddirektivet, hvor Miljødirektoratet er tillagt ansvaret for koordinering og gjennomføring av arbeidet på etatsnivå. Dette har vist seg å være en utfordrende oppgave da implementeringen av vanddirektivet involverer 8 departementer med underliggende etater med ulike ansvarsområder/sectoransvar og som kan gå på tvers av vanddirektivet intensjoner og mål (eks. fornybardirektivet og vannkraft).

Norge er delt opp i hele 11 vannregioner, i tillegg til 5 internasjonale vannregioner delt med Sverige og Finland, med hver sin utpekte fylkeskommune som vannregionmyndighet. Landet er videre delt opp i 105 vannområder som består av et stort eller flere mindre sammenslåtte nedbørsfelt, og administreres av med hver sitt vannområdeutvalg normalt bestående av representanter fra berørte kommuner, relevante miljømyndigheter, kraftverkseier, landbruksmyndigheter m.fl. I en del av vannområdene er det ansatt egne prosjektledere for å lede vanddirektivsarbeidet samt og være pådriver for å sammenstille eksisterende vannmiljødata og fremskaffe ny kunnskap om vannressursene.

Fylkeskommunen som har det koordinerende ansvaret for gjennomføring av vanddirektivet på regionalt nivå og for å utarbeide regionale forvaltningsplaner og tiltaksprogrammer basert på vannmiljødata fra de regionale sektormyndigheter og vannområdeutvalg. Miljødirektoratet har det overordnede ansvaret for å sammenstille vannkvalitetsdata, forvaltningsplaner og tiltaksprogrammer på nasjonalt nivå og som rapporteres til ESA (ikke EU kommisjonen).

Den desentraliserte organiseringen av arbeidet med implementeringen av vanddirektivet i Norge har vært motivert i ønske om et lokalt engasjement og kunnskapsinnhenting samt god forankring i regional og lokale forvaltningsplaner samt lokal.

Norge var sen med å ta inn vanddirektivet i EØS-avtalen med EU og i landets vannforvaltning. Norge har derfor ikke fulgt samme tempoplan i rapportering som medlemslandene i EU, men er nå i avsluttende fase med å rapportere nasjonale forvaltningsplaner og tiltaksprogrammer fra første karakterisering og klassifisering av våre vannressurser.

## Erfaringer med vanddirektivsarbeidet

Erfaringene med arbeidet med vanddirektivet til nå har vist at det har tatt lang tid til å få den desentralisert organiseringen på plass og til å fungere effektivt og samordnet. Det lokale engasjement for å bidra i vanddirektivsarbeidet har vært heller moderat selv om det i flere vannområder finnes gode eksempler på mye godt samarbeid rundt kunnskapinnhenting, datasammenstilling og informasjon. Arbeidet med å etterfølge vanddirektivets krav og forordninger har også på nasjonalt og regionalt nivå vært hemmet at motstridene brukerinteresser rundt bruk og beskyttelse av vannressurser (jordbruk, akvanæring, vannkraft). Det har heller ikke hjulpet på framdriften i direktivsarbeidet at det er en betydelig underfinansiert av dette arbeidet i forhold til oppsatte langtidsbudsjetter, og finansieringen har vært en salderingspost i samtlige nasjonalbudsjetter etter 2007.

## Tilstanden i norske vannforekomster

I Norge er det registrert nær 30 000 vannforekomster. Dette gir betydelige praktiske og økonomiske utfordringer tilknyttet karakterisering, klassifisering og overvåking av disse vannforekomstene da det kun for et fåtall finnes tilstrekkelige vannmiljødata. For de langt fleste vannforekomstene er miljøbelastningen minimal da de ligger i tilnærmet uberørte områder og har følgelig god status. Det er likevel registrert at hele 37 % av vannforekomstene er i risiko for ikke å nå miljømålene i 2021, og over 10 % av vannforekomstene er oppgitt til å ha dårlig eller svært dårlig økologisk tilstand. Det statistiske grunnlaget viser at vannføringsreguleringer og langtransportert forurensing har størst negativ påvirkning på norske vannforekomster. Det må her nevnes at kunnskapsgrunnlaget tilknyttet de fleste vannforekomster er svært mangelfull, og at status i de fleste tilfeller er satt ut fra en faglig skjønnsvurdering.

## Grunnvannsføremster

Av de nær 30 000 registrerte vannforekomstene i Norge er i ca. 1 100 grunnvannsføremster, hvorav ca 80 av disse er ansett for å være i risiko for ikke ha god status i 2021. Arbeidet med å karakterisere og klassifisere grunnvannsføremster har til nå vært nedprioritert i vanddirektivsammenheng da det av miljømyndighetene er vurdert at det ikke finnes vesentlige påvirkninger og utfordringer med grunnvann sammenliknet med miljøutfordringer tilknyttet overflatevannføremster. Kunnskap om både utstrekning, miljøbelastning og vannkvalitet er derfor svært mangelfull for de langt fleste registrerte grunnvannsføremster. Dette gjelder også

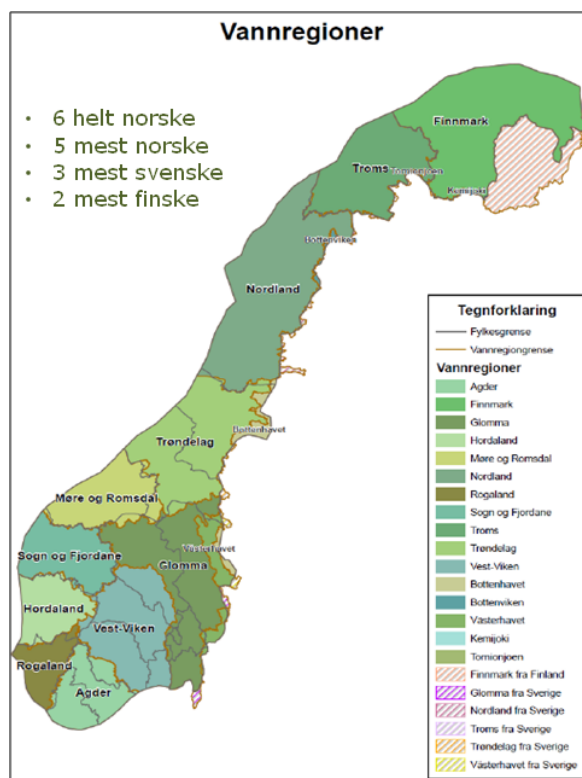
for de 80 grunnvannsforkomstene i risikogruppen. I mangel på tilstrekkelige hydrogeologiske data om grunnvannsforkomster er avgrensingen av disse hovedsakelig basert på tolkning av kvartærgeologiske kart uten dybdeinformasjon, og kjemisk tilstand er basert på arealbelastning (jordbruk, infrastruktur, urbanisering).

### NGUs rolle i vanddirektivsarbeidet

NGU har ikke et formelt sektoransvar tilknyttet grunnvannsdirektivet eller vannressurser for øvrig i Norge, men er involvert i vanddirektivsarbeidet gjennom deltakelse i en flerdepartemental direktoratsgruppe nedsatt for å koordinere og informere om arbeidet på departement/etatsnivå. Direktoratsgruppen har også ansvar for å holde miljø- og vannforvaltningen oppdatert på vanddirektivsarbeidet på kommisjonsnivå samt å utarbeide oppdaterte nasjonale veiledere i henhold til krav og forordninger i vanddirektivet. NGU deltar også i Prosjektgruppe grunnvann sammen med Miljødirektoratet, Landbruksdirektoratet og Norges vassdrag og energidirektorat (NVE) som har som hovedoppgave å følge opp arbeidet med å implementere grunnvannsdirektivet i norsk vannforvaltning.

### Pågående arbeider i Norge relatert til grunnvannsdirektivet

For å imøtekomme behovet for mer kunnskap og data om grunnvannsressurser i Norge har NGU, i samarbeid med fra Miljødirektoratet og NVE, nettopp startet opp et prosjekt hvor et lite utvalg av belastede grunnvannsforkomster vil bli kartlagt og overvåket. Forekomstene vil, i tillegg til å representere ulike belastninger (eks. jordbruk, urbanisering), bli valgt ut til å representere ulike geologiske, geografiske og klimatiske forhold. Tanken bak dette arbeidet er at det framtidige utvalget av kartlagte og overvåkede forekomster skal utgjøre en gruppe av typelokaliteter som kan representere mange liknede grunnvannsforkomster med tilsvarende



Figur 1. Geografisk inndeling av vannregioner i Norge

belastning og hydrogeologiske forhold, og følgelig redusere behovet for kartlegging og overvåking av andre grunnvannsforkomster.

Det pågår også et samarbeid med SGU knyttet til kartlegging av grenseoverskridende grunnvannsforkomster for å få etablert en felles forståelse av grunnvannsforkomstenes utstrekning i grenseområdet samt å etablere overvåking av disse.



# Små vattentäckers betydelse i samhällsplaneringen

Sten-Ove Dahllöf

Tjörns kommun, 471 80 Skärhamn

## Bakgrund

Längs hela Bohuskusten har vi likartade frågeställningar kring vatten och avloppsförsörjningen. Vi vill gärna bo nära havet och ha alla möjligheter att utnyttja dessa lägen för olika fritidsaktiviteter. De flesta kommunerna längs Bohuskusten vill naturligtvis gärna utnyttja dessa möjligheter genom att skapa attraktiva boende i attraktiva lägen.

Ett boende i kustnära kommunen förutsätter naturligtvis en god tillgång på bra vatten. Kommunerna spelar en stor roll i att säkerställa detta. Inte minst LAV poängteras detta genom §6. För att uppmärksamma problematiken bör den kommunala samhällsplaneringen ta ett större samlat grepp. Vi bör skaffa god kännedom hur befintliga enskilda vattentäckter fungerar och genom vår planering inte tillåta större exploateringar än naturen kan försörja med vatten. Kommunerna behöver även skaffa sig en bra kännedom om vattentäckernas kvalitet och kvantitet.

Mindre enskilda vattentäckter kan sannolikt aldrig bli ett alternativ till kommunala storskaliga lösningar men kan definitivt spela en stor roll genom att de kan försörja mindre bebyggelsegrupper med erforderlig vattentillgång. För att definiera dessa vattentäckter och deras influensområde kan vi säkerställa att de även framåt i tiden kan spela en avgörande roll. Genom att kartlägga kapaciteter, kvalitet och de områden som bidrar till nybildande av grundvatten kan vi definiera strategiskt viktiga vattentäckter. Kommunerna kan genom en samlad VA-planering säkerställa dessa vattentäckers fortsatta betydelse. Lämpligt instrument för detta är en samlad VA-planering för hela den geografiska kommunen (Havs- och vattenmyndigheten 2014).

## Ansvar

Ansvar för enskilda vattentäckter och provtagningar av dessa ligger idag i första hand på den enskilde. Kommunerna har i regel ingen samlad dokumentation och inte heller uppgifter om hur kvalitén förändras över tid.

SGU har genom brunnsarkivet oftast uppgifter om borrhål och kapaciteter men uppgifter om kvalitet är begränsade. Vi är i kustkommuner väl medvetna om att borrhål vattentäckter som regel innehåller järn, mangan och ofta förhöjda salthalter. I vissa bergarter finns även risk för radon.

## Vattenförsörjningsplaner

Instrumentet "vattenförsörjningsplan" använd av både kommuner och regioner och fokuserar främst på vattenresurser som i ett större perspektiv är angelägna att redovisa i plane-

ringen. Även funktioner och instrument för att skydda dessa finns. Däremot är mindre vattentäckernas betydelse inte lika uppmärksammat.

## Nybildning av grundvatten

I samband med exploateringar och bygglovhanteringar är det mer ovanligt att grundvattenmagasinen uppmärksammas. En ganska utbredd uppfattning är att vatten alltid finns. Bara att borra. I kustområden är som bekant saltvatteninträngningen inget ovanligt problem.

Att borra ny brunn är som regel inte en lösning på tillgången. Vid detaljplanering och påföljande exploateringar leds det vatten bort via ledningar som normalt ska vara vår påfyllnad av grundvattenmagasinen. Detta gör att behovet av samlade stora vattendistributionssystem blir större och större.

## Slutsats

Det finns alltså ett behov av ett samlat grepp om enskilda vattentäckers funktion och betydelse i samhällsplaneringen. Ett medel att öka kunskapen och att visa betydelsen av små vattentäckter och dess tillrinningsområde kan vara definiera *strategiska vattentäckter*. Men att göra detta kommer att väcka ett antal frågeställningar såsom:

1. Hur säkert tåller vi att dagvatten hanteras på ett sådant sätt att grundvatten återbildas?
2. Ansvarsfrågor kring dagvatten.
3. Vem "äger" vattnet?
4. Om jag har en "strategisk vattentäkt", vad får jag för ersättning om andra vill nyttja den?
5. Om en strategisk vattentäkt lägger restriktioner på en exploatering som begränsar möjligheterna till intäkter uppstår en konflikt mellan vattnets betydelse och ekonomiska intressen m.m.

Listan kan bli lång men genom att införa begreppet *strategiska vattentäckter* kan vi starta upp arbetet med att säkerställa att de vattentäckter som är en nödvändig förutsättning för boende kan fortsätta vara användbara utan att vi kräver storskaliga lösningar.

## Referenser

Havs- och vattenmyndigheten, 2014: Vägledning för kommunal VA-planering för hållbar VA-försörjning och god vattenstatus. *Havs- och vattenmyndigheten, rapport 2014:1*.

# Kartläggning och tolkning av ursprung till höga halter kadmium och bly i grundvattnet i Höörs kommun, Skåne

Peter Dahlqvist<sup>1</sup>, Anna Ladenberger<sup>2</sup>, Madelen Andersson<sup>2</sup>, Cecilia Jönsson<sup>1</sup> & Lena Maxe<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sveriges geologiska undersökning, Kiliansgatan 10, 223 50 Lund  
<sup>2</sup>Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala

## Projektbeskrivning

Under våren 2014 kontaktades SGU av Arbets- och miljömedicin på Lunds Universitetssjukhus med anledning av att de på uppdrag av Höörs kommun analyserat sex dricksvattenbrunnar och funnit mycket höga halter av kadmium (1–12 g/l) och bly (1,2550 g/l). Under sommaren 2014 utfördes ytterligare undersökningen i 62 brunnar med större geografisk spridning. Nu hittade man ännu högre halter (kadmium upp till 92 g/l och bly upp till 378 g/l).

Det unika med förhållandena i undersökningsområdet är dels att det är många punkter med extremt höga halter, men också att det är så stor skillnad mellan brunnar inom ett väldigt litet område. Antagligen har tungmetallerna ett naturligt ursprung i marken. Att det skulle komma från rörelningar är osannolikt, eftersom så pass många fastigheter är drabbade. Det finns heller ingen anledning att misstänka någon förorening i mark orsakad av människan.

SGU har en översiktlig bild av förekomsten av bly och kadmium i jorden genom våra markgeokemiska kartor. För att kunna förklara de höga halterna krävs dock en betydligt mer detaljerad studie. Våren 2015 startade ett internt FoU projekt på SGU för att studera området och de höga halterna bly och kadmium.

## Områdesbeskrivning

Undersökningsområdet ligger i centrala Skåne på berggrund bestående av graniter och gnejser med inslag av paleozoiska och yngre sedimentära bergarter som skiffer, sandsten och kalksten. Inom området har det även pågått vulkanism vid minst två tillfällen och vulkaniska bergarter finns bl.a. i form av mindre diabasgångar. De kvartära avlagringarna domineras av morän och isälvsediment. Åkermark i östra delen och skogsmarken i väst är två huvudkategorier av markanvändning.

## Hypotes

De höga halterna bly och kadmium har en naturlig orsak som är knuten till grundvattnets rörelse i sprickor i berggrunden. I sprickorna finns mineraliseringar som innehåller mycket bly och kadmium. Mobilisering av dessa metaller orsakades av den vulkaniska (värmekälla och fluider) och tektoniska (sprickor och förkastningar) aktivitet som förekommit i området. Ursprunglig källa till metaller kan vara den kambriska sandsten som har kända sulfidmineraliseringar.

## Metod

För att utreda ursprunget av de höga halterna har SGU provtagit den lokala berggrunden, den överliggande moränen eller

sediment (C-horisont) samt översta marklagret (ca 10 cm djup) i 37 punkter inom ett område på ca 10 × 10 km. Proven analyseras under hösten 2015 för totalhalter och syralakade halter. Tanken är att en jämförelse av markgeokemiska data med grundvattendata tillåter en tolkning av lokal metalltransport och källidentifiering. De höga halterna anses preliminärt som naturliga men antropogen påverkan kan bedömas med jämförelse av ytliga markprov med de djupare jordproven samt genom jämförelse mellan syralakade halter och totalhalter.

Dessutom har vi utfört geofysiska mätningar med VLF och magnetometri för att lokalisera eventuella diabasgångar och sprickor som inte tidigare kartlagts i området.

Analysresultat ska behandlas med statistiska och rumsliga metoder (Arcgis). Extraherbarhet av metaller ska beräknas och tolkning av metallcykel mellan jord och vatten kommer att upprättas.

## Syfte och mål

- Utreda ursprunget av de höga halterna i grundvattnet.
- Utföra en riskbedömning av grundvattnets och markens kvalitet samt ett förslag av riktlinjer för markanvändning inom området.
- Att förmedla möjliga risker och problem relaterade till de höga metallhalterna till Höörs kommun.

## Implementering av resultat

Undersökningsområdet presenterar ett typiskt problem med naturligt höga metallhalter i stadsnära miljö. Områden med liknande problematik förekommer i Skåne men också i Västra Götaland (Billingen), Närke (Kumla), Jämtland (Östersund) nära Kalmar och i Västerbotten. Om projektet är lyckosamt kan det även bli möjligt att göra något eller några av nedanstående underlag.

- Riskbedömning för förhöjda halter av kadmium och bly i grundvattnet.
- Peka ut områden som vi bör provta för bly och kadmium i SGUs jord-, berg-, och grundvattenkartering.
- Identifiera riskområden för detaljerad geokemisk kartering.
- Prioriteringsunderlag för kommuner för provtagning av enskilda brunnar.

# Helikopterburen kartläggning, SkyTEM-undersökningar på Gotland

Peter Dahlqvist<sup>1</sup>, Carl-Axel Triumf<sup>2</sup>, Lena Persson<sup>3</sup>, Mehrdad Bastani<sup>3</sup>, Mikael Erlström<sup>1</sup>, Flemming Jørgensen<sup>4</sup>, Henrik Thulin-Olander<sup>5</sup>, Mattias Gustafsson<sup>1</sup>, Magdalena Thorsbrink<sup>3</sup>, Kristian Schoning<sup>3</sup> & Phil Curtis<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sveriges geologiska undersökning, Kiliansgatan 10, 223 50 Lund

<sup>2</sup> Sveriges geologiska undersökning, Varvsgatan 41, 972 32 Luleå

<sup>3</sup> Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala

<sup>4</sup> GEUS, Lyseng Allé 1, Højbjerg, DK-8270, Denmark

<sup>5</sup> Ramböll, Skeppsgatan 5, 211 22 Malmö

## Inledning

SGU utförde under 2013 mätningar med ett helikopterburet geofysisk system (SkyTEM) inom fyra områden (540 km<sup>2</sup>) på Gotland. Syftet var att kartlägga geologin i tre dimensioner med speciellt fokus på de hydrogeologiska förutsättningarna för större grundvattenuttag.

## Bakgrund

Anledningen till undersökningarna var de återkommande problem med tillgången på dricksvatten i samband som finns på Gotland. Bristen är främst orsakad av att grundvattenmagasinen i jordlagren och berggrunden på Gotland är små eller dåligt kända. Bristen är som störst under sommarmånaderna då även grundvattenbildningen är som lägst. Förutom bristen på tillräckliga grundvattenmagasin påträffas ofta salt grundvatten i grundvattentäkterna på Gotland. Sammantaget finns det därför behov av förbättrad geologisk information som kan vara till hjälp för lokalisering av större grundvattenmagasin och en kartläggning av på vilket djup salt grundvatten förekommer.

## Metod

TEM-mätningarna utfördes av ett danskt företag (SkyTEM Aps) som har ca 15 års erfarenheter från omfattande grundvattenkartläggning i Danmark. Metodiken har utvecklats för att få fram 3D modeller av jordlagren och berggrunden för t.ex. bedömning av utbredning av grundvattenmagasin i Danmark.

Mätningarna på Gotland har utförts med ett system (SkyTEM) som registrerar den elektriska resistiviteten i marken. Mätningarna gjordes längs parallella mätlinjer med ett linjeavstånd på ca 200 m. Jordlagrens och berggrundens resistivitet kunde bestämmas ner till 200–300 m djup. Data från undersökningen motsvarar ca 80 000 geofysiska sonderingar vilket motsvarar ca 150 sonderingar per kvadratkilometer. De variationer i resistivitet som man ser i mätdata beror framför allt på skillnader i porositet, andel lermineral, vattenmätt-

nadsgrad och förekomst av salt grundvatten. När resultaten bearbetats och tolkats sammanfogas de till en tredimensionell resistivitetsmodell för respektive område. För att förbättra modellerna kompletteras de geofysiska modellerna med geologisk och geofysisk information från markbundna geofysiska mätningar, ett antal för ändamålet borrade brunnar och geofysisk borrhålsloggning i dessa.

## Resultat

Tolkningen av mätresultaten resulterade i att ett antal områden kunde pekas ut som intressanta för framtida undersökningar när det gäller större grundvattenuttag. För varje enskilt undersökningsområde har vi tagit fram en karta som visar djupet till den nivå där man riskerar ett saltpåverkat grundvatten vid borrningar.

Resultaten från undersökningarna redovisas i Dahlqvist m.fl. (2015). SGUs förhoppning är att data från undersökningarna kommer att användas av regionen, länsstyrelsen, konsulter m.fl. som underlag för t.ex. planering av vattenskyddsområden, vattentäkter, tillståndsgivning och tillsyn av energibrunnar, samt arbete med vattenförvaltning.

## Framtid

SGU kommer under hösten 2015 att utföra nya SkyTEM-undersökningar inom fyra nya områden (ca 500 km<sup>2</sup>) på Gotland. Resultaten från de båda undersökningarna kommer att utgöra en stor del i SGUs uppdatering av det regionala underlaget för Gotlands hydrogeologi som planeras bli klart under 2016.

## Referenser

Dahlqvist, P., Triumf, C-A., Persson, L., Bastani, M., Erlström, M., Jørgensen, F., Thulin-Olander, H., Gustafsson, M., Thorsbrink, M., Schoning, K. & Curtis, P., 2015: SkyTEM-undersökningar på Gotland. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden 136*, 116 s.

# Rimlig kostnad för tätning av tunnlar

Thomas Dalmalm & Peter Lundman

Trafikverket, 172 90 Sundbyberg

## Vilka krav ställer miljöbalken på tätning av tunnlar

Miljöbalken ställer krav på att bästa möjliga teknik ska användas för att skydda miljö men till en rimlig kostnad. Vad som är rimlig kostnad är olika för olika parter. Byggherren vill täta så lite som möjligt för att spara pengar, men samtidigt inte så lite att det uppstår merkostnader. De närboende vill inte att det ska påverkas alls vare sig under byggskede eller driftskede. Domstolen vill att det ska tätas i enlighet med lagen. För att hitta rätt nivå så är det många aspekter som ska vägas samman och ge en rimlig kostnad.

## Vad kostar det att täta tunnlar

Kostnaden för att täta en tunnel kan delas in i flera delar. Initialt så är kostanden stor för utredningar och miljödömsförhandlingar. Att remissa med berörda, myndigheter och sakägare är en omfattande process. Tätningen är en del av tunnelbyggnadsprocessen och varje delsteg i processen måste bära sin del av processens tidskostnad. Denna kostnad varierar starkt med förutsättningarna. Som exempel så kan det vara dubbelt så dyrt att täta en tunnel som bara kan byggas från ett håll jämfört med om det finns flera möjliga påslag (arbetsplatser) varifrån tätningsarbetet kan utföras.

## Hur tätas tunnlar effektivt

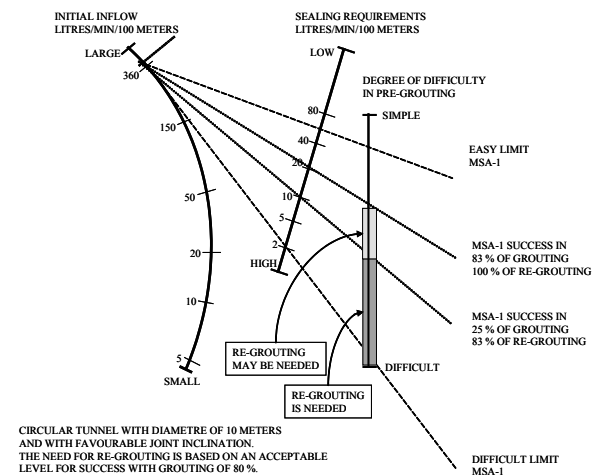
Det finns olika angreppssätt för att täta en tunnel. Det normala är att det är effektivare att täta en tunnel genom förinjektering än genom efterinjektering. Det omvända skulle kunna vara fallet om tillgängliga arbetstillfällen vid tunnelfronten är få och att den då mer kostsamma efterinjekteringen istället utförs bakom tunnelfronten. Den valda regleringsformen mellan byggherre och entreprenör har i praktiken stor

betydelse för effektiviteten i tätningsarbetet. I och med att byggherren alltid är ansvarig för de geologiska förhållandena så är det inte ovanligt att diskussion uppstår när föreskrivet tätningsarbete inte ger predicerat tätningsresultat.

## Referenser och litteratur

Dalmalm, T., 2004: *Choice of Grouting Method for Jointed Hard Rock based on Sealing Time Predictions*. Division of Soil and Rock Mechanics, KTH, Sweden.

Trafikverket, 2014: *Implementeringsrapport Bergkonstruktioner*.



Figur 1. Förhållandet mellan initialt inflöde, täthetskrav och svårigheten att täta med hjälp av injektering (Dalmalm 2014).

# Groundwater resources management in hard rock terrain: a balancing act

Robert Earon & Bo Olofsson

Dept. of Sustainable Development, Environmental Science and Engineering, KTH Royal Institute of Technology, 100 44 Stockholm

## Background

Groundwater management is difficult in hard rock terrains with limited glaciofluvial deposits, lack of a significant weathered layer and extreme heterogeneity in the fracture network. While the Swedish climate has sufficient annual precipitation to meet the needs of the population, several phenomena occur which can lead to localized and regional groundwater scarcity. Large volumes of meteoric water are lost to surface water bodies including the Baltic Sea due to a high runoff coefficient and fracture plugging during rain events (Spence & Woo 2002). Elevated evapotranspiration rates during the summer period lead to limited recharge, forcing residents to rely on local groundwater reserves in areas where it is difficult to connect to municipal water supplies. However, local supplies are often limited to isolated soil pockets with low kinematic porosities such as till or clay and the bedrock fracture network which has porosity values orders of magnitude lower. Low horizontal hydraulic conductivity values in the subsurface limit indirect recharge, leading to the primary source of recharge occurring directly from meteoric water. Proximity to saline water bodies such as the Baltic Sea increases the risk for salinization of groundwater reservoirs, which are already at risk due to the presence of relic salt water from the last period of glaciation (Olofsson 1994). Finally, increasing permanent residency in coastal areas increases the demand on groundwater resources. It is therefore vital that decisionmakers have access for tools which can quantify sustainably and equitably extractable groundwater resources, and which can identify areas where environmental stresses are likely to occur in order to allocate resources for mitigation.

## Groundwater balance in terrains with limited storage

Groundwater balance models have been shown to be useful in hard rock terrains with limited soil cover (Olofsson 2002), but often do not account for spatial distribution of well extraction or for the limited storage characteristics of the reservoirs. These features are exceedingly important in areas with primarily single-household drilled wells. A new method has been developed which was based on a simple groundwater balance, but accounts for both of these concerns. The method uses readily available data such as geological and well data from the Geological Survey of Sweden, topographical data from the Swedish Land Survey, and climate data from the Swedish Meteorological and Hydrological Institute. The model was run in several locations and for several climate and land-use scenarios, and compared to some more traditional

groundwater balance methods. The method was shown to be capable of identifying areas which are at risk for over-extraction and increased environmental stress. Results indicate that this new methodology could prove very useful for regional and local planners in managing limited groundwater resources. Benefits of the model include: (a) reliance on readily available data, (b) execution in a GIS environment which allows for non-hydrological experts to implement and understand it and (c) a robust and adaptable framework which allows for modelling of different climate and land-use scenarios.

## Acknowledgements

Financing for this project was received from SGU and KTH Royal Institute of Technology.

## References

- Olofsson, B., 1994: Salt groundwater in Sweden. In Olofsson, B., (Ed.): Salt Groundwater in the Nordic Countries. Proceedings from a workshop, Saltsjöbaden, Sweden, Sept 30 – Oct 1, 1992. *Nordic Hydrological Programme, NHP-report*, 17–35.
- Olofsson, B., 2002: Estimating groundwater resources in hardrock areas – a water balance approach. *Norges geologiske undersökelse, Bulletin 439*, 15–20.
- Spence, C. & Woo, M., 2002: Hydrology of subarctic Canadian shield: bedrock upland. *Journal of Hydrology* 262, 111–127.

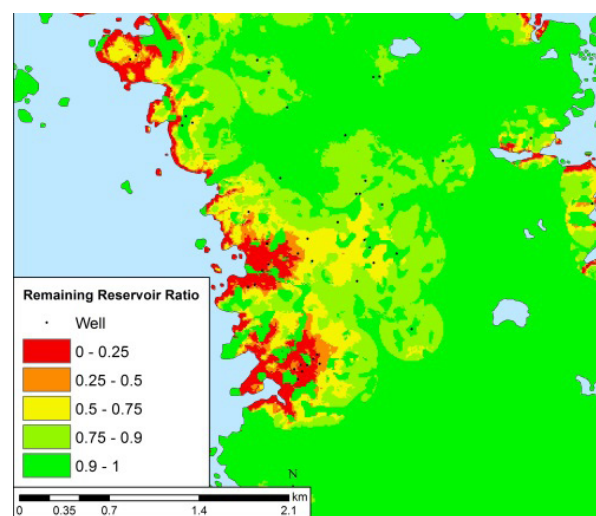


Figure 1. Example of estimated reservoir state after eight months of groundwater usage.

# Transport of nanoparticles with groundwater affected by soil and dissolved organic matter

Fritjof Fagerlund<sup>1</sup>, Maryeh Hedayati<sup>1</sup>, Jean-Marc Mayotte<sup>1</sup> & Prabhakar Sharma<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, Uppsala University, Uppsala, Sweden.

<sup>2</sup>School of Ecology and Environment Studies, Nalanda University, Rajgir, Nalanda, Bihar, India

## Background

Substances with more than one dimension smaller than 100 nm can be classified as nanoparticles (NPs). Many NPs have been found to exhibit unique, enhanced properties that differentiate them compared to the same bulk material (Nowack & Bucheli 2007). These unique properties of NPs have spurred an accelerating development of new technologies and consumer products for a range of different applications, while at the same time the use of NPs worldwide is increasing at an accelerating rate (e.g. Piccinno et al. 2012). An example of engineered NPs are titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) NPs which are widely used in sunscreens and paints.

Detailed knowledge about the toxicity of NPs and their interactions with other constituents and contaminants in the environment is still largely lacking. An example of such interaction is the enhanced uptake of arsenic (As(V)) found in carp fish in the presence of TiO<sub>2</sub> NPs (Sun et al. 2007). To assess the risks and potential effects on ecosystems and water resources, it is necessary to understand how different types of NPs can be transported in soil and groundwater, and particularly which are the key factors that control their mobility and fate in the environment (Wiesner et al. 2006).

## Aim

Presence of soil organic matter (SOM) and dissolved organic matter (DOM) may significantly influence the fate and transport of NPs in groundwater. It is therefore critical to better understand the influence of organic matter on the transport and retention processes of NPs. The aim of this study was to investigate the effects of both SOM and DOM on the transport of TiO<sub>2</sub> nano-particles in saturated porous media in well-controlled laboratory experiments.

## Method

A series of column flow-through experiments under different conditions were performed. Natural porous media from the Uppsala esker (Figure 1), which is used for artificial recharge and groundwater supply containing SOM was compared to the same soil after removing the SOM. Similarly transport with natural water containing DOM was compared to water without DOM.

## Results

It was found that presence of organic matter significantly enhanced the mobility of the TiO<sub>2</sub> NPs under the investigated conditions. In the presence of both SOM and DOM at normal conditions in the esker soil undergoing artificial recharge, the TiO<sub>2</sub> NPs were nearly fully mobile and, fur-

thermore, increasing the ionic strength had only a minimal effect on the mobility at these conditions. Without SOM significant retention (~50%) of TiO<sub>2</sub> NPs was observed at 7.5 mM ionic strength (IS), and the retention increased further when further increasing the IS.

## Conclusions

The results indicate that both SOM and DOM may produce blocking of sorption sites otherwise available for NP sorption and retention in the porous medium. The findings further suggest that the mobility of nano-scale particles may be enhanced in aquifers which contain organic matter. The presence of organic matter may therefore render an aquifer more vulnerable to unwanted particle transport.

## References

- Nowack, B. & Bucheli, T.D., 2007: Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment. *Environmental Pollution* 150, 5–22.
- Piccinno, F., Gottschalk, F., Seeger, S. & Nowack, B., 2012: Industrial production quantities and uses of ten engineered nanomaterials in Europe and the world. *Journal of Nanoparticle Research* 14, 1109.
- Sun, H., Zhang, X., Niu, Q., Chen, Y. & Crittenden, J.C., 2007: Enhanced accumulation of arsenate in carp in the presence of titanium dioxide nano-particles. *Water Air Soil Pollution* 178, 245–254.
- Wiesner, M.R., Lowry, G.V., Alvarez, P., Dionysiou, D. & Biswas, P., 2006: Assessing the risks of manufactured nanomaterials. *Environmental Science and Technology* 40, 4336–4345.



Figure 1. Artificial recharge at the Uppsala esker.

# Modelling groundwater transport and travel times in warming permafrost

Andrew Frampton, Romain Pannetier & Georgia Destouni

Stockholm University, Department of Physical Geography, SE-106 91 Stockholm, Sweden  
Bolin Centre for Climate Research, SE-106 91 Stockholm, Sweden

## Abstract

There is a need for improved mechanistic understanding and quantification of the links and interactions between changing permafrost and changes in the essentially hidden water flow and solute transport in the sub-surface, including in the changing active layer. This need is not only important for dissolved carbon in the context of climate change, but also for understanding how changes in tracer and pollutant spreading are affected by climate change and associated permafrost thaw in combination with other anthropogenic changes related to land and water pollution in permafrost regions (Elberling et al. 2010, Jessen et al. 2014). A general need to improve the realism of numerical models suitable for permafrost environments has also been highlighted by Riseborough et al. (2008), including models of surface and sub-surface hydrology interactions with active layer dynamics.

In this contribution subsurface solute transport under surface warming and degrading permafrost conditions is studied using a physically-based model of coupled cryotic and hydrogeological flow processes combined with a particle tracking method. Changes in the sub-surface water and inert solute pathways and travel times are analysed for different modelled geological configurations during a 100-year warming period (selected pre- and post-warming travel times are shown in Figure 1). For all simulated cases, the minimum and mean travel times increase non-linearly with warming irrespective of geological configuration and heterogeneity structure. The timing of the start of increase in travel time depends on heterogeneity structure, combined with the rate of permafrost degradation that also depends on material thermal and hydrogeological properties. The travel time changes depend on combined warming effects of increase in pathway length due to deepening of the active layer, reduced transport velocities due to a shift from horizontal saturated groundwater flow near the surface to vertical water percolation deeper into the subsurface, and pathway length increase and temporary immobilization caused by cryosuction-induced seasonal freeze cycles.

## Acknowledgements

This study was funded by the Geological Survey of Sweden (SGU) project nr 362-1593/2013.

## References

Elberling, B., Christiansen, H.H. & Hansen, B.U., 2010: High nitrous oxide production from thawing permafrost. *Nature Geoscience* 3, 332–335. doi:10.1038/ngeo.803.

Jessen, S., Holmslykke, H.D., Rasmussen, K., Richardt, N. & Holm, P.E., 2014: Hydrology and pore water chemistry in a permafrost wetland, Ilulissat, Greenland. *Water Resources Research* 50, 4760–4774. doi:10.1002/2013WR014376.

Riseborough, D., Shiklomanov, N., Eitzelmüller, B., Gruber, S. & Marchenko, S., 2008: Recent advances in permafrost modelling. *Permafrost and Periglacial Processes* 19, 137–156. doi:10.1002/ppp.615.

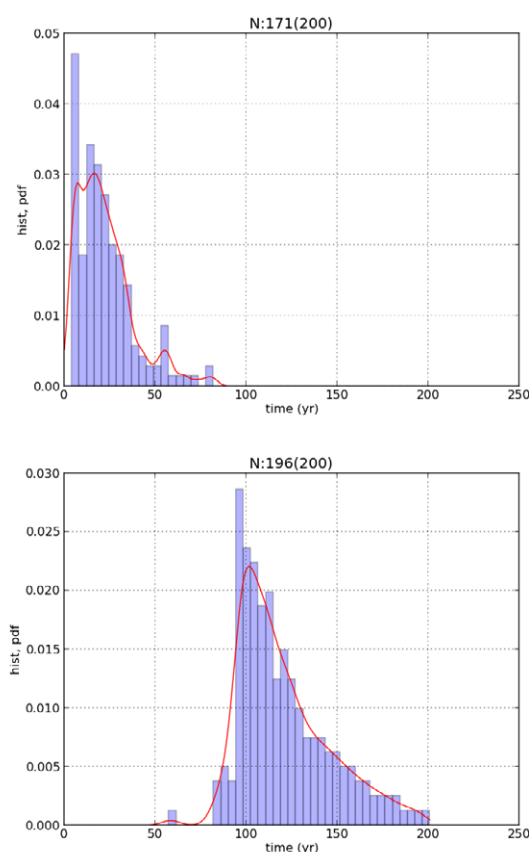


Figure 1. Groundwater travel times before (upper) and after (lower) an imposed 100-year warming period in a coupled groundwater–permafrost model.

# Vattenskydd – riskanalys och föreskrifter

Cristina Frycklund

Tyréns AB, 118 86 Stockholm

## Bakgrund

Avgränsningen av vattenskyddsområden liksom deras föreskrifter behöver vara välgrundade och väl motiverade med hänsyn till vattenresursens skyddsbehov. Vattenskyddsföreskrifterna ska fungera för myndigheternas tillsynsarbete och behöver vara skrivna som författningstext som håller genom rättsliga prövningar.

Flera studier har visat att det finns ett stort behov av stöd och vägledning i det vattenskyddsarbete som sker. Utformningen av vattenskyddsföreskrifterna kan ofta vara det enskilt svåraste momentet i att inrätta ett vattenskyddsområde. Värdering av risker är också ett svårt moment. Och det är risken som ska styra vilka restriktioner som behövs för att tillgodose dricksvattenresursens skyddsbehov.

## Syfte och metod

Denna studie har gjorts med syftet att dels beskriva problemen, dels sammanställa ett underlag för att i arbetet med att inrätta vattenskyddsområden kunna koppla vattenskyddsföreskrifterna till de aktuella riskerna. Studien, som genomförts av Sandra Johansson, Daniel Simonsson samt författaren, samtliga på Tyréns, har omfattat:

- En genomgång av juridiskt vägledande beslut för vattenskyddsområden som inrättats enligt miljöbalken.
- En jämförelse mellan de juridiskt vägledande besluten, Naturvårdsverkets allmänna råd (NFS 2003:16) samt annan parallell lagstiftning.
- En strukturering av olika risker för vattenresurser.
- Framtagandet av en metodik för att koppla ett urval risker mot föreskrifter.
- Litteraturläsning av arbeten som har fokus på inrättande och förvaltning av vattenskyddsområden och på riskanalyser för vattenresurser.

Studien kommer att publiceras i Svenskt Vatten Utvecklings rapportserie.

## Resultat

Jämförelsen mellan Naturvårdsverkets allmänna råd och de juridiskt vägledande besluten visade att en föreskrift som utformats enligt de allmänna råden i allmänhet hållit genom en rättslig prövning. Råden är dock i vissa fall svåra att tolka och fungerar inte ihop med övriga författningar. Om råden ska fortsätta att vara normgivande så behöver de omarbetas och kompletteras.

I rapporten ges förslag på hur arbetet med en riskanalys kan struktureras och på vilket sätt de olika delarna av en verksamhet utgör en risk. Verktyg för att koppla ihop risk med restriktionsnivå i föreskriften ges i rapporten för ett urval av riskerna.

## Slutsatser

Det kvarstår behov av vägledning av olika slag. Ett sådant behov är att tillhandahålla förslag till hur en föreskrift som anger tillståndskrav respektive förbud för viss verksamhet kan formuleras så att den är juridiskt hållbar.

Det är också angeläget att vidareutveckling av metoder för riskanalyser kopplade till utformning av vattenskydd prioriteras. Även om de metoder som tas fram skulle vara användbara endast för en del av de risker som behöver beaktas i vattenskyddsarbetet, så vore det ett värdefullt tillskott till befintliga verktyg. Centrala och regionala myndigheter bör sedan vägleda så att sådana verktyg och klassningssystem används i vattenskyddsarbetet.

## Tack

Studien har finansierats av Sven Tyréns Stiftelse och Svenskt Vatten Utveckling.



# Hydrogeologiska undersökningar gällande lakvattenbildning vid Brudaremassens deponi

Maria Granberg, Johanna Merisalu, Sebastian Pokorny, Stefan Banzhaf & Roland Barthel  
Institutionen för Geovetenskaper, Göteborgs Universitet, Box 460, 405 30 Göteborg

## Inledning

Deponier utgör ett miljöproblem eftersom det finns en potentiell risk för kontaminering av grund- och ytvatten. Kontamineringsgraden beror av typ av avfall och mängd lakvatten. Resultaten som presenteras är ett axplock från ett examensarbete vid Göteborgs Universitet (Granberg m.fl. 2015).

## Bakgrund

Brudaremassen är en nedlagd deponi belägen 500 m från en av Göteborgs kommuns huvudsakliga dricksvattenreservoarer, vilket gör den extra angelägen att övervaka och studera. Deponin var aktiv mellan 1938 och 1978 och har sedan nedläggning täckts med lera i omgångar, men någon sluttäckning har aldrig gjorts (Nielsen 2007).

Ett uppsamlingsystem av lakvatten finns installerat i deponin. Utflödet från detta mäts i en "lakvattenbrunn" genom vilken allt uppsamlat vatten passerar. Deponin genererar kontinuerligt lakvatten och vid intensiva nederbördsperioder genereras höga flödestoppar i utflödet. Detta är problematiskt av två skäl, varje liter vatten kostar att rena och de höga flödestopparna orsakar översvämning i en lakvattendamm i anslutning till deponin. Översvämningarna leder till att orenat vatten kontaminerar omgivningarna.

## Syfte

Syftet med projektet är att undersöka deponins ytskikt för att utreda var infiltration av nederbörd sker (vilket sedermera bildar lakvatten) och fortsättningsvis möjligheter att minska lakvattenbildning. Syftet har också varit att se om utflödet enbart består av vatten som passerat genom deponin eller om det sker en utspädning genom tillförsel av ej kontaminerat ytvatten. Detta skulle innebära onödig belastning för reningsverket.

## Metod

Ytskiktet karterades baserat på uppskattad infiltrationskapacitet (från sonderingar med markundersökningskäpp och infiltrationstester). Utifrån karteringen gjordes en interpolering med IDW (Inverse distance weighting). För att undersöka hur temperatur, elektrisk konduktivitet och grundvattennivåer svarar på nederbörd installerades instrument i lakvattenbrunnen och i observationsbrunnar under projektets gång.

## Resultat

Karteringen bekräftar att ytskiktet är heterogent och inget tydligt mönster av hur deponin har täckts för att förhindra infiltration finns. Karteringen visar att delar av deponin har ett täckande lager. Flera av dessa områden leder dock inte till

minskad infiltration, eftersom de är osammanhängande och inte sträcker sig ut till deponins kanter (fig. 1).

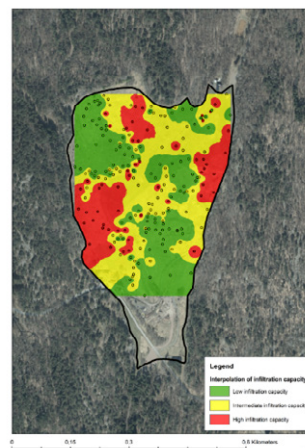
Under perioder med låg nederbörd visar flödet i lakvattenbrunnen hög elektrisk konduktivitet och anses därför bestå av främst lakvatten. Den generella trenden för elektrisk konduktivitet är en tydlig sänkning i samband med nederbörd, vilket förklaras genom tillförsel av ytvatten. Vid höga flöden är sänkningen av elektrisk konduktivitet kraftig och detta tyder på en betydande mängd ytvatten i utflödet. Detta stöds av korta responstider mellan nederbörd och ökat utflöde. Ytvatten samlas med största sannolikhet upp av en intagsbrunn.

## Slutsatser

För att minska infiltrationen av nederbörd (och på så vis minska mängden lakvatten) kan redan täckta områden sammanfogas. Detta genom att ytor mellan dessa områden förses med ett täckande lager. Denna åtgärd innebär att ytvatten leds bortom deponins gränser. Genom att leda bort ytvatten från intagsbrunnen kan utflödet (i lakvattenbrunnen) minskas. Dessa åtgärder leder till en minskad andel vatten som behöver renas och reducerad risk för översvämning av lakvattendammen.

## Referenser

- Granberg, M., Merisalu, J. & Pokorny, S., 2015: Hydrogeological investigations at the Brudaremassen landfill to estimate pathways, residence times and volumes of contaminated seepage water (Bachelor's Essay). *Department of Earth Sciences, University of Gothenburg, Publ. B865*.
- Nielsen, C., 2007: Geologisk och hydrogeologisk undersökning vid Brudaremassens avfallsdeponi (Magisteruppsats). *Institutionen för geovetenskap, Göteborgs Universitet, Publ. B530*.



Figur 1. Interpolering av ytskiktets infiltrationskapacitet baserat på tre klasser. Grön representerar låg infiltration, gul intermediär och röd hög.

# SGUs grundvattenkartering

Mattias Gustafsson<sup>1</sup>, Kajsa Bovin<sup>2</sup>, Peter Dahlqvist<sup>1</sup>, Charlotte Defoort<sup>2</sup>, Eva Jirner<sup>2</sup>, Lars-Ove Lång<sup>3</sup>, Åsa Lindh<sup>3</sup>, Elisabeth Magnusson<sup>1</sup>, Henrik Mikko<sup>2</sup>, Magdalena Thorsbrink<sup>2</sup> & Emil Vikberg<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sveriges geologiska undersökning, Kiliansgatan 10, 223 50 Lund

<sup>2</sup> Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala

<sup>3</sup> Sveriges geologiska undersökning, Guldhedsgatan 5A, 413 20 Göteborg

## SGUs grundvattenkartering

SGU har sedan början av 1970-talet bedrivit kartläggning av de svenska grundvattentillgångarna. Metoderna och skalorna har varierat över tid. Hela landet finns kartlagt i länskartor i skalan 1:250 000. För vissa områden togs även kommunkartor fram i skala 1:50 000 under perioden 1993 till ca 2005. Under drygt 10 år har grundvattenkartläggningen bedrivits i lokal skala (1:50 000) och varit inriktad på att beskriva enskilda grundvattenmagasin som bedömts vara viktiga för samhällsplaneringen, framför allt drickvattenförsörjning. Kartläggningen har sedan 2008 bedrivits i karteringsprojekt med geografisk indelning utifrån de fem svenska vattendistrikten. Fram tills nu har drygt 160 beskrivningar av grundvattenmagasin utgivits i SGUs serie K.

## Hur arbetar SGU i grundvattenkartläggningen?

Inför grundvattenkarteringen görs en sammanställning av befintligt material från tidigare utförda utredningar. SGUs inmatning av brunnsuppgifter samt den nyligen genomförda digitaliseringen av befintliga grundvattenutredningar har underlättat arbetet väsentligt. Förutom fältrekognosering utförs kompletterade undersökningar av SGU i de områden där det saknas data. Undersökningarna kan utgöras av brunns- och källinventeringar, geofysiska mätningar och borrhningar eller sonderingar för att få en tillräckligt bra bild av hela grundvattenmagasinet och dess egenskaper.

## Databasframställning

Grunddata från fältundersökningarna lagras in i SGUs databas för grundvattenparametrar. En hydrogeologisk databas över det aktuella grundvattenmagasinet upprättas med den insamlade informationen samt SGUs jorddatabas som grund. I basen ingår bl.a. data om tillrinningsområde, grundvattenbildning, vattendelare, strömningsriktningar och andra hydrauliska parametrar samt en bedömning av uttagsmöjligheterna i grundvattenmagasinet. Information om anslutande ytvattensystem inlagras också.

## Vad ingår i en beskrivning över grundvattenmagasin?

I beskrivningen ingår en text över grundvattenmagasinet terrängläge och en geologisk samt hydrogeologisk översikt. Grundvattenmagasinet utbyte med ytvattensystem beskrivs samt dess tillrinningsområden och en bedömning av den naturliga grundvattenbildningen. Utifrån magasinets sammansättning, tillrinningsområden, naturlig grundvattenbildning och möjlighet till inducerad infiltration från ytvattensystem görs en bedömning av den möjliga uttagskapaciteten i magasinet. Ingår gör också en kortfattad beskrivning av

de vattenuttag som sker samt, om uppgifter finns tillgängliga, om grundvattnets kvalitet.

## Täckningsgrad

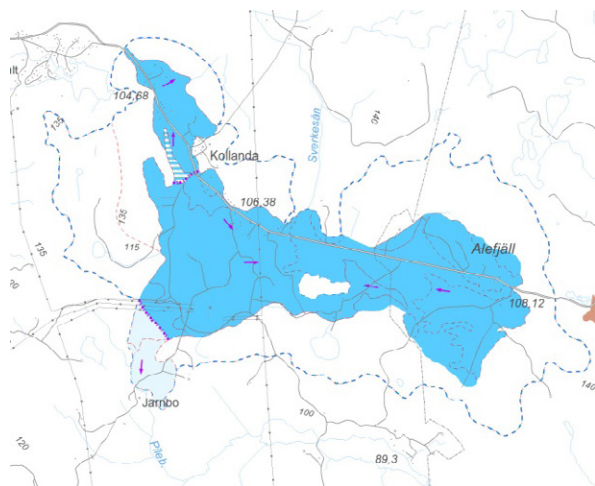
Hittills utgivna grundvattenbeskrivningar i SGUs serie K omfattar främst grundvattenmagasin i södra Sverige med tyngdpunkt på Skåne, Blekinge och Västra Götalands län. Beskrivningar över grundvattenmagasin i länen Dalarna, Värmland, Västernorrland, Kalmar, Jönköping, Östergötland, Örebro, Södermanland, Stockholm och Gävleborg finns också utgivna.

## Grundvattenbeskrivningarnas användningsområde

Kartläggningen av grundvattenmagasinen samt dess beskrivningar används bland annat av kommuner, länsstyrelser och konsulter i samband prospektering av nya vattentäkter, men även i samband med större infrastrukturprojekt och inom vattenförvaltningen. En utvecklingspotential för kartläggningen är att bättre beskriva sambandet mellan yt- och grundvatten samt grundvattnets betydelse för närliggande ekosystem.

## Referens

Lång, L.-O., 2015: Grundvattenmagasinet Kollanda. *Sveriges geologiska undersökning K 480*.



Figur 1. Databasutsnitt visande bedömda uttagsmängder ur ett grundvattenmagasin, flödesriktningar på grundvattnet, grundvattendelare och tillrinningsområde (Lång 2015).

# Kartläggning av gränsöverskridande grundvattenförekomster mellan Sverige och Norge

Mattias Gustafsson<sup>1</sup> & Atle Dagestad<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sveriges geologiska undersökning, Kiliansgatan 19, 223 50 Lund

<sup>2</sup>Norges geologiske undersøkelse, Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim

## Grundvattenförekomster som går över landsgräns

Inom vattenförvaltningen finns 12 grundvattenförekomster identifierade som är gränsöverskridande mellan Sverige och Norge där det samtidigt finns ett glapp mellan respektive lands avgränsning av förekomsterna alternativt att förekomsten slutar vid landsgränsen.

Av dessa 12 grundvattenförekomster sträcker sig 3 stycken på båda sidor om gränsen, på 3 platser slutar förekomster på norsk sida och på 6 platser på svensk sida. Det kan i några av fallen vara så att förekomsten tar slut vid nationsgränsen (vattendrag utgör gräns) eller att kartläggningen är bristfällig på andra sidan landsgränsen. Det finns därför ett behov att justera och undersöka strömningsförhållandena för att kunna avgöra förekomstens utbredning och eventuella behov av justering.

Ingen av grundvattenförekomsterna på svensk eller norsk sida är klassade ”at risk”, men inom EU har det tydligt påpekats att arbetet med Transboundary Ground Water bodies är viktigt.

## Arbetsgång

Samarbetet mellan Sveriges geologiska undersökning (SGU) och Norges geologiske undersøkelse (NGU) påbörjades under sommaren 2014 då de grundvattenförekomster som är belägna från Sälen/Stöten och söderut fältbesöktes av hydrogeologer från både SGU och NGU.

Den gränsöverskridande karteringen bedrivs enligt SGU grundvattenkarteringsmodell, med start av insamling av befintligt data varefter fältbesiktning av området utförts. Arbetet fortsätter sedan i allmänhet med georadarmätningar längs befintliga vägar, dessa mätningar utvärderas och kompletteras med brunnsinventeringar, sonderingar eller rödrivningar samt kompletterade geofysiska mätningar så som seismik, tyngdkraft eller resistivitet.

Efter fältmätningar sammanställs underlaget i databas och till varje grundvattenmagasin där uttagskapaciteten bedöms överstiga 5 l/s sammanställs en beskrivning.

Inom vattenförvaltningsarbetet har i vissa fall en förenklad karteringsmetod använts, vilket i huvudsak bygger på kartstudier.

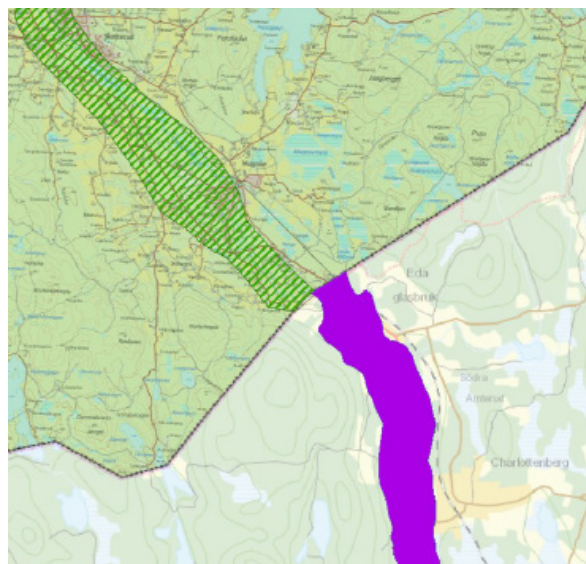
Inom SGUs grundvattenkartering har undersökningar utförts under 2012 och 2013 vid Gränsbo(SE)/Flermoen

(NO) och Stöten(SE)/Støa(NO), Bovin (2015a, b). Vid undersökningarna i Stöten(SE)/Støa(NO) utfördes vissa georadarmätningar även på norsk sida. Dessa visade att grundvattentillgången är god även på den norska sidan av gränsen och att grundvattenmagasinet fortsätter in i Norge.

Under juni månad 2015 påbörjades en gemensam kartering i området mellan Eda (Eda kommun) och Mangor (Eidskogs kommun) samt vid Rottnein i Torsby, samt Kongsvingers och Grue kommuner där geofysiker och hydrogeologer från NGU och SGU utförde georadar och resistivitetmätningar på båda sidor gränsen.

## Referenser

- Bovin, K., 2015a: Grundvattenmagasinet Rörbäcksnäsåsen. *Sveriges geologiska undersökning K 473*, 8 s.
- Bovin, K., 2015b: Grundvattenmagasinet Görälvåsen. *Sveriges geologiska undersökning K 493*, 10 s.
- [http://grunnvann.no/grunnvann\\_i\\_norge.php](http://grunnvann.no/grunnvann_i_norge.php)



Figur 1. Grundvattenförekomst på norsk (grönstreckad) respektive svensk (lila) sida vid Eda–Mangor. Förekomst finns på båda sidor gränsen men är inte passade mot varandra.

# Kemiska bekämpningsmedel i grundvatten – resultat och trender under tre decennier

Mikaela Gönczi<sup>1</sup>, Gustaf Boström<sup>2</sup> & Jenny Kreuger<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kompetenscentrum för kemiska bekämpningsmedel, Box 7066, Sveriges lantbruksuniversitet, 750 07 Uppsala  
<sup>2</sup>Länsstyrelsen i Skåne län, 205 15, Malmö

## Inledning

Grundvatten är en viktig resurs för samhället, inte minst för att en stor del av vårt dricksvatten kommer från grundvatten. Havs- och vattenmyndigheten tillsammans med Kompetenscentrum för kemiska bekämpningsmedel vid Sveriges lantbruksuniversitet har gjort en sammanställning över kunskapsläget när det gäller förekomst av kemiska bekämpningsmedel i svenskt grundvatten och utvecklingen under tre decennier (1986–2014). Halterna relateras till gränsvärdet för dricksvatten vilket är 0,1 µg/l för enskilda substanser och 0,5 µg/l för totalhalter.

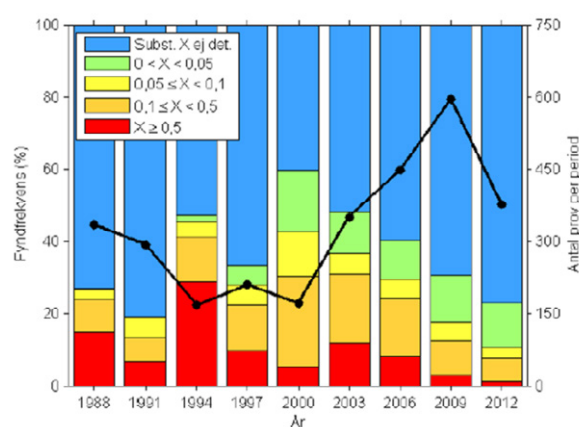
## Metod

Underlaget baseras på befintliga data för halter av bekämpningsmedel i grundvatten från provtagningar som utförts av t.ex. kommunala vattenverk, vattenvårdsförbund och länsstyrelser, sammanställda i databaser hos Sveriges geologiska undersökning och Sveriges lantbruksuniversitet.

## Resultat och diskussion

Rester av bekämpningsmedel återfanns i 36 % av alla proverna tagna i grundvatten under den undersökta perioden. Figur 1 visar minskande trend för summahalter över dricksvattengränsvärdet under perioden. Summahalter över 0,5 µg/l har minskat från ca 15 % perioden 1987–1994 till strax under 5 % perioden 2005–2014 för generella grundvattenprover. Motsvarande jämförelse för råvattenprov från vattenverk visar en minskning från ca 5 % till ca 2 %.

Det är fynd av numera förbjudna bekämpningsmedel som oftast påträffas i grundvatten (fig. 2). De vanligaste substanserna



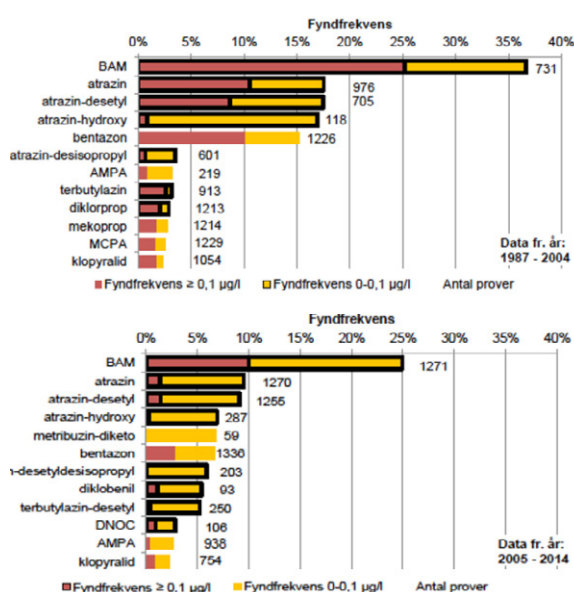
Figur 1. Fyndfrekvens för summahalter av bekämpningsmedel i grundvattenprover (exklusive prover från vattenverk) tillsammans med antalet prov (svart linje), uppdelade i tidsintervall om tre år.

att påvisas har varit BAM, vilket är en nedbrytningsprodukt till diklobenil, samt atrazin med nedbrytningsprodukter. Dessa två substanser ingick i totalbekämpningsmedlet Totex Strö som hade en bred användning i samhället och användes mot ogräs på bland annat banvallar, grusade ytor och industritomter. Varken atrazin eller diklobenil har varit registrerade för användning i Sverige sedan 1989/1990.

Bentazon är den idag godkända substans som har högst fyndfrekvens. För alla de vanligast detekterade substanserna ses en minskning mellan första och andra halvan av perioden. Minskningen av BAM och atrazin är en logisk följd av att de blivit förbjudna. Minskningen av bentazon är sannolikt en följd av förändrade villkor i början av 1990-talet (lägre doser, färre grödor samt endast spridning på våren). En generell minskning har skett, främst till följd av bättre utbildning, bättre hantering och striktare godkännandevillkor.

Materialet har analyserats på flera olika sätt och bland annat kan sägas att det är högre andel fynd i enskilda brunnar än i råvatten från vattenverk samt för de flesta substanserna även i grävda brunnar jämfört med borrade.

Vid tolkningen av resultat är det viktigt att ha i åtanke att antalet prov har ökat avsevärt under 2000-talet, framför allt prover från vattenverk. Något som också påverkar resultaten är att analysmetoderna efter hand har förbättrats, vilket inneburit att detektionsgränser har sänkts samt att



Figur 2. Fyndfrekvens 0–0,1 µg/l samt över 0,1 µg/l för de 12 vanligaste funna bekämpningsmedlen i grundvatten (exklusive prover från vattenverk) uppdelat på perioderna 1987–2004 (övre) och 2005–2014 (nedre). Staplar med svart ram innebär att substanserna är förbjudna idag.

fler substanser har kunnat analyseras. T.ex. började BAM analyseras först i mitten av 1990-talet vilket gav upphov till ökade fyndfrekvenser.

Sammanställningen visar att det finns en stor variation mellan proverna i underlaget när det gäller yttäckning, frekvens och val av analyserade substanser. Växtskyddsmedel används numera nästan uteslutande på jordbruksmark medans dagens miljöövervakning av grundvatten till störst del görs i skog. Det är också vanligt att analyspaketen som används inte är uppdaterade och flera av de i dag godkända substanserna analyseras därför sällan.

### **Slutsatser**

Underlaget visar att halterna av bekämpningsmedel i grundvatten minskar generellt sett och de historiskt höga

halterna av BAM, atrazin och bentazon är alla på väg ner. För att kunna ge en bra bild av grundvattenkvaliteten i Sverige skulle dock insamlingen av data behöva förbättras med bättre yttäckande provtagning, särskilt i jordbruksområden, samt att fler relevanta substanser analyseras. Fler riktade undersökningar mot enskilda brunnar bör också övervägas.

### **Litteratur**

Larsson, M., Boström, G., Gönczi, M. & Kreuger, J., 2014: Kemiska bekämpningsmedel i grundvatten 1986–2014. Sammanställning av resultat och trender i Sverige under tre decennier, samt internationella utblickar. *Sveriges lantbruksuniversitet, CKB rapport 2014:1. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2014:15.*

# A novel approach for groundwater assessment and predictions – improving the representativeness of sparse observation networks and enhancing model results

Ezra Haaf & Roland Barthel

Department of Earth Sciences, University of Gothenburg, Box 460, 405 30 Göteborg, Sweden

## Introduction

When studying groundwater on the regional scale, for instance, for water resource analysis or climate change impact, the analyst often faces scarcity and uneven distribution of observations over space and time, the uncertainty of structures, inputs and processes as well as the inherent heterogeneity and variability of hydrogeological conditions. Today, this problem of missing information is bridged either by subjective expert assessment, numerical groundwater modelling or simple conceptual hydrological models. Expert assessment yields irreproducible results and cannot be used for quantitative descriptions (Voss 2005). Numerical groundwater models are data hungry and expensive to develop and calibrate. Conceptual hydrological models are usually calibrated against surface water observations only and do not take into account the complex 3D-setup of geology.

Here we propose a new way, transferring information from more well-explored and better understood systems to poorly-observed groundwater systems by a classification scheme based on similarity.

## Proposed approach

### *Prerequisites for a groundwater level classification scheme*

The strategy is based on two hypotheses: (1) Data scarcity can be adequately compensated by applying the principle of similarity. We claim that similar hydrogeological systems respond similarly to similar perturbations making it possible to predict responses for locations without observations but known geology. (2) A structured framework can be developed based on classification of hydrogeological structures, time series of observations and perturbations.

With such a classification framework the behaviour of less well-observed groundwater systems can be predicted, underlying processes can be better understood. Additionally, climate impact predictions can be improved. Finally, such a framework can be used to check regional conceptual models or provide supplementary material for numerical models.

### *Statistical methods for groundwater systems classification*

The key to the proposed approach is that it combines formal classification of structural features (geology, topography, etc.)

with formal classification of dynamic behaviour of groundwater systems (time series of observations). In contrast to the existing verbal hydrogeological classification schemes, formal classification is based on approaches to statistically extract relevant information on structure and state from observed and well characterized locations in order to define functionally similar groups. For this to be possible a large dataset is needed which contains a multitude of long groundwater level time series dense in time and space as well as a detailed description of the geology, climate and other external factors that can be related to the behaviour of groundwater systems. These requirements can be found in a dataset collected through two state-level monitoring programs in Southern Germany, more concisely in the upper Daube catchment.

A number of promising or previously used methods for groundwater time series classification are applied to the dataset. Among these methods are PCA with Varimax rotation, hierarchical clustering with different distance metrics, k-means clustering and model-based clustering as well as combinations of dito. The results are subsequently compared to a classification that has been undertaken by grouping visually similar time series. Advantages and problems with the tested methods are discussed.

## Outlook for Sweden

Groundwater monitoring and hydrogeological mapping in Sweden face many challenges in a large country with a small population. Only a minor number of the many small and medium sized groundwater bodies are monitored (Vikberg et al. 2015). The proposed concept could very likely be successfully applied in Sweden to i) improve groundwater recharge calculations, ii) enhance predictions of climate change impacts based on conceptual hydrological models, iii) create a better understanding of the complex feedbacks between climate, human pressures and groundwater.

## References

- Vikberg, E., Thunholm, B., Thorsbrink, M., & Dahné, J., 2015: Grundvattennivåer i ett förändrat klimat – nya klimatscenarier. *Sveriges geologiska undersökning, Rapport 2015:19*.
- Voss, C. I., 2005: The future of hydrogeology. *Hydrogeology Journal* 13(1), 1–6. doi: 10.1007/s10040-005-0435-8.

# Strategi för att skydda Europas vattenresurser och exempel på rekommendationer på åtgärder

Anneli Harlén

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

## Bakgrund

Genom ramdirektivet för vatten (vattendirektivet) fastställdes år 2000 en rättslig grund för att skydda och återställa rent vatten i Europa och säkerställa en långsiktig och hållbar vattenanvändning. Men målsättningen att uppnå EUs vattenpolitikmål hotas av ett antal gamla och nya utmaningar. Trots förbättringar under de senaste åren är kvaliteten på EU:s vatten inte bra. Lika bekymmersamt är det med vattenkvantiteten eftersom vattenbristen sprider sig i Europa och antalet extrema händelser (t.ex. översvämningar) ökar i alltför många medlemsstater. Kommissionen utarbetade därför en strategi för att skydda Europas vattenresurser: *A Blueprint to Safeguard Europe's Water Resources* (Europeiska kommissionen 2012). Syftet med strategin är att se till att det finns tillräckligt med vatten av god kvalitet för att möta behoven hos människor, ekonomin och miljön. Strategin innehåller inte en universallösning som alla ska följa utan snarare en verktygslåda som medlemsstaterna kan använda för att förbättra vattenförvaltningen på nationell och regional nivå och på avrinningsområdesnivå.

## Kemisk status i grundvatten

Kemisk status har utvärderats för mer än 13 000 grundvattenförekomster i EU i 25 medlemsländer. 25 % av dessa har sämre än god vattenstatus och i ungefär 3 % är statusen okänd. Orsaken till att statusen är sämre än god är framför allt nitrat men även bekämpningsmedel och föroreningar i bilaga II i grundvattendirektivet.

## Handlingsstrategi

I ”Blueprint” (European Commission 2012) fastslås de viktigaste tillvägagångssätten för att nå målen i vattendirektivet:

- Förbättra genomförandet av EUs nuvarande vattenpolitik genom att till fullo utnyttja de möjligheter som erbjuds genom gällande lagar.
- Öka integreringen av vattenpolitikens mål i andra relevanta politikområden som jordbruk, fiske, förnybar energi, transporter och sammanhållnings- och strukturfonderna.
- Tappa till luckorna i det nuvarande regelverket, särskilt när det gäller verktygen för att öka vattneffektiviteten.

Några åtgärder som föreslås i strategin är lagkrav på att mäta vattenuttag, framtagande av vägledning och krav på att sätta pris på vatten, utveckla vägledning för att integrera vattneffektivitet i avrinningsområdesplanering, bättre kunskapsun-

derlag genom rapporteringskrav samt se till att tillstånd för utsläpp ligger i linje med bästa tillgängliga teknik.

## Exempel på rekommendationer från EU

- Medlemsstaterna måste öka sina ansträngningar för att grunda sina åtgärdsprogram på en tillförlitlig bedömning av påverkan och konsekvenser på akvatiska ekosystem och på en tillförlitlig bedömning av vattenstatus. En förbättrad övervakning och metodutveckling för att kunna bedöma påverkan bättre är en viktig del.
- Identifiera den mest kostnadseffektiva kombinationen av åtgärder för att nå MKN för kemisk och kvantitativ grundvattenstatus.
- Medlemsstaterna måste stärka sina grundläggande åtgärder för att bekämpa diffusa föroreningar från jordbruket.
- Kommissionens bedömning av åtgärdsprogrammen visar behovet av att bättre hantera sambandet mellan kvalitet och kvantitet vid bedömningen av påfrestningar på de akvatiska ekosystemen och att införa åtgärder som är inriktade på uttags- och flödesreglering.
- Medlemsstaterna uppmanas att fortsätta utvidga upprättandet av säkerhetszoner för att skydda områden som används för uttag av dricksvatten.
- Medlemsstaterna bör utnyttja de många möjligheter som EU erbjuder att ekonomiskt stödja genomförandet av åtgärdsprogrammen.

## Referenser och litteratur

- EEA, 2012: Report *European waters — assessment of status and pressures, 2012*. No 8/2012. ISBN 978-92-9213-339.
- Europeiska kommissionen, 2012: *A blueprint to safeguard Europe's water resources*. Brussels 14.11.2012, COM (2012), 673 final. [http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/index_en.htm)
- Europeiska kommissionen, 2015: *Ramdirektivet för vatten och översvämningdirektivet: åtgärder för att nå ”god status” för EU:s vatten och minska översvämningriskerna*. Bryssel den 9.3.2015, COM (2015) 120 final.
- Europeiska kommissionen, 2000: *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy* (OJ L 327, 22/12/2000 p.1–72) (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:327:0001:0072:EN:PDF>) accessed 5 October 2012.
- Europeiska kommissionen, 2006: *Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration*.

# Värderingsprojektet – värdering av Sveriges grundvattenförekomster

Björn Holgersson<sup>1</sup>, Magdalena Thorsbrink<sup>2</sup>, Jakob Nisell<sup>2</sup> & Peter Dahlqvist<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sveriges geologiska undersökning, Guldhedsgatan 5A, 413 20 Göteborg

<sup>2</sup> Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala

<sup>3</sup> Sveriges geologiska undersökning, Kiliansgatan 10, 223 50 Lund

## Inledning och syfte

Syftet med arbetet har varit att utföra en relativ värdering av Sveriges grundvatten utifrån ett dricksvattenperspektiv. Att metoden är relativ innebär att värdebedömningen presenteras som relativ jämförelse mellan olika områden och grundvattenmagasins förutsättningar att användas för vattenförsörjning och resultatet presenteras i en enhetslös poängskala från 1 till 100. Några olika användningsområden som resultatet kan komma att nyttjas till är:

- Prioriteringsunderlag i åtgärdsarbetet, t.ex. vattenskydd.
- Underlag och stöd vid upprättandet av vatten- och materialförsörjningsplaner.
- Underlag vid utpekande av riksintressen.

Målet för projektet har varit att leverera:

- Ett nationellt värderingsskikt.
- En fungerande GIS process med vilken analysen kan upprepas.
- En process för osäkerhetsanalys och osäkerhetsklassning.
- Ett förslag till vidareutveckling.

## Metodik för nu utförd värdering

Den framtagna värderingsmodellen bygger på tidigare metodutveckling för grundvattenvärdering som togs fram av Naturvårdsverket (2002) samt vidareutveckling av denna metod till en ickemonetär värdering av grundvattenmagasin (SGU 2010). De ”värdegrundande parametrarna” är projektets byggstenar och utgör grunden för det slutvärde som beräknas. Dataunderlag kommer främst från SGUs databaser, men baseras även på data från SCB, SMHI och SLU.

De värdegrundande parametrarna är sårbarhet, förorenande verksamheter i tillrinningsområdet, långsiktig uttagskapacitet, lämplighet för konstgjord infiltration, grundvattnets kvalitet och behov av dricksvatten.

## Sammanlagning värdegrundande parametrar

För att erhålla ett sammanslaget slutvärde för grundvattenmagasinen så har de värdegrundande parametrarna viktats och slagits ihop i GIS-miljö. Resultatet har blivit en nationell heltäckande information om varje värdegrundande parameter i rasterformat. Rasterunderlagen har sedan aggregerats till vattenförvaltningens grundvattenförekomster. Osäkerheten i processen har beskrivits för vissa parametrar. Sammanvägning av de värdegrundande parametrarna har utförts och

redovisats som nationellt raster varvid de ingående värdeskikten har viktats parvis. Som modellen är uppbyggd finns möjligheten att köra om modellen med olika viktningssatser.

## Genomförande av värderingen redovisad per grundvattenförekomst

Rastermodellen ger en flexibel möjlighet att redovisa resultatet sammanställt över fritt valda områden, t.ex. ett län. För att kunna analysera och redovisa värderingsmodellens resultat per grundvattenförekomst så har statistik beräknats för varje vattenförekomstpolygon på de sex rasterskikten med värderingsparametrar. Efter detta har sammanslagningen skett på samma sätt som den rasterbaserade modellen. Statistiken per grundvattenförekomst sammanställs och läggs till vattenförekomsten som nya attribut. Sammanställningen är gjord enligt följande:

- behov – maxvärde inom förekomsten
- infiltration – medianvärde inom förekomsten
- påverkan – medianvärde inom förekomsten
- kvalitet – medelvärden inom förekomsten
- uttagsmöjlighet – maxvärde inom förekomsten
- sårbarhet – medianvärden inom förekomsten.

## Resultat

Värderingsmodellens resultat kan redovisas i kartor och i tabellform. Utöver detta finns resultatet tillgängligt i en geodatabas med rasterskikt för de olika delresultaten.

## Vidareutveckling

Osäkerhetsskikten ska vidareutvecklas för att kunna redovisa hela modellens osäkerhet. En beslutsprocess ska tas fram för när vi väljer att uppdatera modellen med nya indata, viktningar, kalibreringar, dvs. förutsättningar för ny modellkörning. Modellen kan utvecklas till att kunna utföra en relativ värdering av Sveriges grundvattenmagasin utifrån andra perspektiv, t.ex. magasinens värde gentemot grundvattenberoende ekosystem eller magasinens värde som geoenergi resurs.

## Referenser

- SGU, 2010: En metod för ickemonetär relativ värdering av grundvattenmagasin. *Sveriges geologiska undersökning, Rapport 2010:22.*
- Naturvårdsverket, 2002: Värdering av grundvattenresurser, Metoder och tillvägagångssätt. *Naturvårdsverket, Rapport 5142.*



# Added value of hydrogeological information in the case of PFA's contamination

Elisabeth Häggquist

Economics Unit, Luleå University of Technology, 971 87 Luleå

## Optimal sampling

Contaminated drinking water have received increased attention (Feng et al. 2013, Loos et al. 2010), but site investigations are associated with large uncertainty due to variability and lack of information (Back 2007). The level of uncertainty is assumed to stem from data scarcity (e.g. Yokato & Thomson 2004). However, resources for data collection (e.g. monitoring and field experiments) are limited and therefore it is important to assess information acquisition (Wu & Zheng 2013). The additional monitoring reduces the water management models predictive uncertainty, but only contributes if it makes the decision-makers update their prior beliefs concerning management of the drinking water.

This paper consider the added value of acquiring hydrogeological information and assume that there exist uncertainty in the decision-making that can be improved, otherwise additional data would have no influence.

Reliable prediction of groundwater contamination is crucial for designing remediation plans. As a remediation issue this paper focus on water-soluble perfluorinated acids (PFAs), such as, perfluorinated compounds (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA), due to their persistent character. PFOS and PFOA have been identified in European rivers (Loos et al. 2009, McLachlan et al. 2007), drinking water (Loos et al. 2010) along with surface water around the world (Bao et al. 2012, Murakami et al. 2008). Loos et al. (2010) investigated EU ground water and found that the water on average have 3 ng/l PFOA and 4 ng/l PFOS. Although present at low concentration these compounds raises toxicological and environmental concerns.

Table 1. Samples with detected level (ng/l) of PFA.

	PFOS	PFOA	PFA <sup>a</sup>
Min*	1,2	1	1
Mean*	7,9	6,9	23
Median*	2,6	1,4	-
Max*	71	98	248
Tot*	30	27	52
Eu Mean**	4	3	-

a. PFA also includes PFHxS, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFPeA and 6:2 FTS (based on \*SWWA 2014, \*\* Loos et al. 2010)

Table 2. Decisions under uncertainty.

Action	States		Utility
	Contaminated (s=1)	Not contaminated (s=2)	
Remediation (x=1)	c11	c12	u1
Do nothing (x=2)	c21	c22	u2
Prior Beliefs ()	$\pi_1$	$\pi_2$	

In 2014 the members of Swedish Water and Waste-water association (SWWA) conducted a screening of raw water and drinking water samples for PFA, and contamination were found in 52 out of 236 samples (22%) with an average of PFA at 23 ng/l, see Table 1. The most abundant PFA was PFOS followed by PFOA (SWWA 2014). During the same period the Swedish National Food Agency (NFA) conducted a survey on potential risk of PFA contaminations in Swedish municipalities. The results suggested that 109 water supply facilities, supplying 3.6 million consumers, were deemed affected or within a risk zone of becoming affected of PFAs (NFA 2014). The presence of PFAs were confirmed in most of the drinking water supplies, yet the level of PFAs found were considered below the level of any health risk (<10 ng/l). Five municipalities had samples with high level of PFAs, which has led to changes in the drinking water supply in order to protect the consumers.

This study both discusses costs associated with findings of PFAs in Swedish water and investigating the optimal sampling of hydrogeological information given cost-effectiveness in a framework based on the theory of value-of-information (VOI).

## Value-of-information

In the most basic form the decision setting for water contamination includes two alternatives: remediation or no remediation. If the outcomes are uncertain the decision-makers will base their choices on the expected utility of the outcomes. Table 2 presents the basic decision problem of two potential actions (remediation or not), assuming two possible states of the world (s=1,2, Hirshleifer & Riley 1979). The decision-maker chooses among the actions, while "nature" is said to choose among states, in this case if the water is contaminated or not. The consequences of the actions differ depending on the state of the world (s), which also implies that the cost-effective action depends on s.

The survey data are yet to be collected for this study but the survey is based on prior VOI studies by Bouma et al. (2009, 2011). Potential remediation actions are granular activated carbon (GAC), reversed osmosis (RO), ion exchange (IE) or do nothing.

## Acknowledgments

Financial support from the Geological Survey of Sweden (SGU) is gratefully acknowledged.

## References

Bao, K.A., Maruya, S.A. & Zeng, E.Y., 2012: China's water pollution by persistent organic pollutants. *Environ. Pollut.* 163, 100–108.

- Back, P.E., 2007: A model for estimating the value of sampling programs and the optimal numbers of samples for contaminated soil. *Environ Geol.* 52, 573–585.
- Borisova, T., Shortle, J., Horan, R.D. & Abler, D., 2005: Value of information for water quality management. *Water Resources Research* 41, 1–11.
- Bouma, J.A., Woerd, H.J. & Kuik, O.J., 2009: Assessing the value of information for water quality management in the North Sea. *Journal of Environmental Management* 90, 1280–1288.
- Bourma, J.A., Kuik, O. & Dekker, A.G., 2011: Assessing the value of Earth Observation for managing coral reefs: An example from the Great Barrier Reef. *Sci Total Environ* 409, 4497–4503.
- Feng, X., Simcik, M.F. & Gulliver, J.S., 2013: Mechanisms for removal of Perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) from drinking water by conventional and enhanced coagulation. *Water Research* 47, 49–56.
- Hirshleifer J. & Riley J.G., 1979: The analytics of uncertainty and information – An expository survey. *J. Econ. Lit.* 17, 1375–421.
- Loos, R., Gawlik, B.M., Locoro, G., Rimaviciute, E., Contini, S. & Bidoglio, G., 2009: EU-wide survey of polar organic persistent pollutants in European river waters. *Environmental Pollution* 157, 561–568.
- Loos, R., Locoro, G., Comero, S., Contini, S., Schwesig, D., Werres, F., Balsaa, P., Gans, O., Weiss, S., Blaha, L., Blochi, M. & Gawlik, B.M., 2010: Pan-European survey on the occurrence of selected polar organic persistent pollutants in ground water. *Water Research* 44, 4115–4126.
- McLachlan, M.S., Holmström, K.E., Reth, M. & Berger, U., 2007: Riverine discharge of perfluorinated carboxylates from the European continent. *Environ. Sci. Technol.* 41, 7260–7265.
- NFA (Swedish National Food Agency), 2014: *PFAA i råvattnen och dricksvatten – Resultat av en kartläggning.*
- SWWA (Swedish Water & Wastewater Association), 2014: *National screening of perfluorinated pollutants in drinking water in Sweden.*
- Wu, B. & Zheng, Y., 2013: Assessing the value of information for water quality management: a watershed perspective from China. *Environ. Monit. Assess.* 185, 3023–3035.
- Yokato, F. & Thomson, K.M., 2004: Value of information Analysis in Environmental Health Risk Management Decisions: Past, Present, and Future. *Risk Analysis* 24, 635–650.

# Arsenik i mark, grundvatten och ytvatten i två svartskifferområden

Gunnar Jacks<sup>1</sup>, Prosun Bhattacharya<sup>1</sup> & Zdenka Slejkovec<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Avd. för mark- och vattenteknik, KTH, SE-100 44 Stockholm, Sverige

<sup>2</sup>Dept. of Environmental Sciences, Jozef Stefan Inst. SI-1000 Ljubljana, Slovenia

## Arsenik som förorening i globalt perspektiv

Globalt exponeras ca 200 miljoner människor för arsenik i sitt dricksvatten i halter över hälsogränsen vilken ändå är relativt hög jämfört med de som gäller för många pesticider. Arsenik är ett redoxkänsligt element och specifikt är att det inte behövs särskilt förhöjda halter i jord och berg för att hälsogränsen i grundvatten ska överskridas. Arsenik adsorberas till Fe-hydroxider och under reducerande förhållanden löses dessa upp och arseniken mobiliseras som As(III) till vattenfasen. Detta är vanligt i synnerhet i floddeltan i Syd- och Sydostasien där organiskt material lagrats in i sedimenten och ger syrebrist. Under oxiderande betingelser och vid höga pH-värden tappar Fe-hydroxiderna sin positiva laddning och arsenik kan frigöras som As(V).

## Arsenik i svartskifferområden

I denna studie jämförs arseniken uppträdande i två områden med svarta skifferar, prekambriskas metasediment i Västerbotten och kambriska skifferar i fjällranden. Bägge skiffertyperna har förhöjda arsenikhalter upp till några hundra mg/kg.

## Svartskiffer i Västerbotten

I Västerbotten är terrängen relativt flack och har många våtmarker. En typisk redoxcykel ses där arseniken mobiliseras i våtmarker i halter upp till ca 100 µg/l och strömmar ut i vattendrag där Fe<sup>2+</sup> oxideras och återadsorberar arseniken. Utfällda järnhydroxider kan innehålla upp till ca 0,5 % As och bäcksediment hundratals mg/kg. I vattendragen transporteras ändå en hel del arsenik, upp till 20 µg/l, men då bunden till kolloidala och partikulära järnhydroxider och arseniken verkar ej vara biotillgänglig.

## Kambrisk skiffer vid Oviken

I södra Storsjöområdet där spårmetallens uppträdande i mark och vatten studerats är terrängen mera kuperad. Halterna av arsenik i jord och berg är av samma storleksordning som i Västerbotten men då grundvatten är oxiderat mobiliseras ej arseniken. Specifikt för Storsjöområdet är förhöjda halter av uran och molybden i grund- och ytvatten. Uranet förekommer som Ca-komplex och tas inte upp i växter medan molybden i växter är mycket förhöjt.

## Sammanfattning

Jämförelsen visar att redoxförhållandena är helt avgörande för mobiliseringen av arsenik till grundvatten, oberoende av mängden arsenik i mark och berggrund.

## Litteratur

- Andersson, A., Dahlman, B., Gee, D.G. & Snäll, S., 1985: The Scandinavian alum shales. *Geological Survey of Sweden Ca 56*, 50 pp.
- Jacks, G., Slejkovec, Z., Mörth, M. & Bhattacharya, P., 2013: Redox cycling of arsenic along the water pathways in a sulphidic metasediment area, N Sweden. *Appl. Geochem.* 35, 35–43.
- Jacks, G. & Frank, A., 2015: *Mobility and bioavailability of metals in a Cambrian black shale area, central Sweden*. Manuscript in preparation.
- Snäll, S., 1988: Mineralogy and maturity of alum shales of south-central Jämtland, Sweden. *Geological Survey of Sweden C 818*, 46 pp.

# 3D geological modelling of the Uppsala esker – a tool for analysis of Uppsala’s drinking water source

Eva Jirner<sup>1</sup>, Duncan McConnachie<sup>2</sup>, P.-O. Johansson<sup>3</sup>, Håkan Djurberg<sup>4</sup>, Philip McCleaf<sup>5</sup>, Angelica Hummel<sup>5</sup> & Sven Ahlgren<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Geological Survey of Sweden, Box 670, 751 28 Uppsala

<sup>2</sup> WSP Sverige AB, 121 88, Stockholm-Globen

<sup>3</sup> Artesia Grundvattenkonsult AB, Propellervägen 4B, 183 62 Täby

<sup>4</sup> Akvanovum AB, Propellervägen 4B, 183 62 Täby

<sup>5</sup> Uppsala Vatten, Box 1444, 751 44 Uppsala

## Introduction

In 2013 Uppsala Vatten initiated a strategic study of the Uppsala Esker in order to investigate the esker’s continued viability as the main water supply for the City of Uppsala. This study includes the development of a digital database and a 3D mathematical groundwater model. As a basis for the mathematical modelling, a conceptual hydrogeological model was developed of the relevant stretch of the esker and its catchment (c. 300 km<sup>2</sup>), see Figure 1.

The geological strata and its geometry are key components of the conceptual model which must to be transferred to the mathematical model. This was accomplished by constructing a 3D geological model using the Subsurface Viewer MX software, with subsequent ArcGIS transformation in order to create continuous layers for input to the Feflow mathematical groundwater model.

## Development of the geological model

The digital data used for the geological modelling include c. 1200 borehole logs, published geological maps and sections, geophysical profiles, topographical maps and a digital terrain model (resampled to 25 m resolution). All data were simplified to a general vertical sequence of seven classes: bedrock, till, glaciofluvial sediment, silt and clay, outwash sand, organic soil and fill.

Borehole data were connected in almost 200 cross-sections, taking into account all the geological background information, including geophysical profiles. After review and approval by hydrogeological experts, the sections were used to define 3D geological units based on the simplified stratigraphic model. The units and the sections are modelled in the software to create a block model. In the final model, “synthetic” cross-sections can be generated anywhere and the top and base of each unit can be exported into grids.

## Creation of a Continuous layer model

While *SubsurfaceViewer* can easily handle discontinuous geological strata, groundwater modelling in *FeFlow* requires layers bounded by slices that are continuous throughout the model area. The “top” surface for every geological unit was therefore postprocessed in *ArcGIS* using the Spatial Analyst extension to generate continuous slices. For example, in areas where the bedrock is exposed at the ground surface, a correction needs to be made so that the other six strata above are

added. This is done by lowering the level of the bedrock and allocating a minimum thickness of 0.1 m to the other strata.

The applied methodology to create continuous slices with a minimum 0.1 m thickness was carried out working from top to bottom. The continuous slices were generated by a combined use of the ArcGIS tools ‘Mosaic To New Raster’ choosing ‘Maximum’ as the ‘Mosaic Method’, using the ‘Conditional’ statement in the Spatial Analysts ‘Raster Calculator’, and the ‘Mosaic To New Raster’ tool and choosing ‘First’ as the ‘Mosaic Method’.

After the continuous slices were created the correct geological units had to be assigned to the areas where fictitious layers of 0.1 m thickness had been created. This task was also achieved in *ArcGIS*, working from the uppermost slice downwards in the geological sequence. For each slice the fictitious areas were identified and assigned the same geological unit as the first authentic layer found below.

The created shape files with elevation and geological units for each of the continuous slices can be imported to Feflow and used to construct the 3D geometry and to assist in assigning parameters, such as hydraulic conductivity and specific yield.

## Acknowledgements

The presented work has been performed as a cooperation between Uppsala Vatten and the Geological Survey of Sweden within the framework of Uppsala Vatten’s project “Funktionsanalys Uppsalaåsen”.

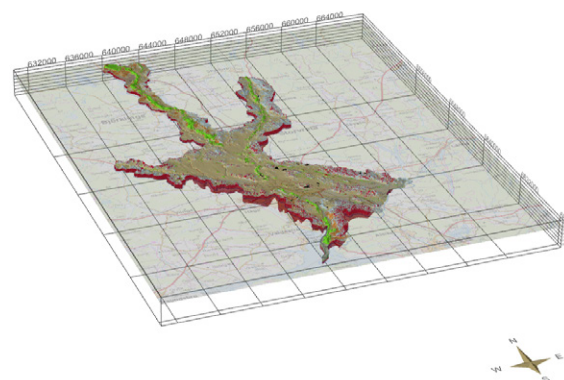


Figure 1. The Uppsala 3D geological model.

# Beslutsstöd för hantering av mikrobiella risker i grundvattensystem för dricksvattenproduktion – koncept och ramverk

Viktor Johansson<sup>1</sup>, Lars Rosén<sup>1</sup>, Andreas Lindhe<sup>1</sup>, Johan Åström<sup>2</sup>, Ekaterina Sokolova<sup>1</sup> & Lars-Ove Lång<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Chalmers tekniska högskola, DRICKS, Institutionen för bygg- och miljöteknik, 412 96 Göteborg

<sup>2</sup> Tyréns AB, Lilla Torget 3, 441 30 Alingsås

<sup>3</sup> Sveriges geologiska undersökning, Guldhedsgatan 5A, 413 20 Göteborg

## Introduktion

I takt med urbanisering och förändrat klimat ökar trycket på de vattenresurser som används till dricksvattenproduktion. För en hållbar hantering av hälsoriskerna i dricksvattensystem krävs kostnadseffektiva åtgärder och ett holistiskt angreppssätt. Att hantera risker är en naturlig del av dricksvattenproducenternas arbete och används redan idag, till exempel i arbetet med vattenskyddsområden och för att säkerställa en trygg leverans av vatten av god kvalitet. I sina riktlinjer för dricksvattenkvalitet förespråkar Världshälsoorganisationen (WHO 2011) ett riskbaserat tänkande med människors hälsa som utgångspunkt. Vidare framhåller de att ekonomiska resurser ska användas på ett effektivt sätt och åtgärder ska vidtas där de är effektivast.

Här presenteras ett förenklat ramverk (fig. 1) som kopplar samman riskhantering med beslutsstöd genom att utvärdera riskreducerande åtgärder utifrån ett kostnads-nyttoperspektiv.

## Metod

Hälsorisker till följd av mikrobiell förorening av dricksvatten och möjliga åtgärder för att minska dessa risker identifierades i ett grundvattensystem. Grundvattensystemet som används är anonymiserat men utgår från ett verkligt system i Sverige som fungerar som dricksvattentäkt för över 10 000 konsumenter.

De mikrobiella riskerna och effekterna från riskreducerande åtgärder bestäms med hjälp av en analytisk probabilistisk modell för mikrobiell risk där ett stationärt grundvattenflöde antas. Utgångspunkt är modellen för mikrobiell riskanalys (MRA) som beskrivs i Abrahamsson m.fl. (2009). Nyttor till följd av riskreducerande åtgärder beskrivs som hälsovinster för dricksvattenkonsumenter och värderas genom att bl.a. använda rapporterade kostnader för olika grad av sjukdom och olägenhet samt nationella schablonvärden (Trafikverket 2015) för statistiskt liv (VSL). Nyttorna vägs mot kostnaderna för åtgärder och ett samhällsekonomiskt nettonuvärde för åtgärder presenteras som stöd för beslut. Kostnads-nyttobräkningar utförs med hjälp av Monte Carlosimuleringar och parameterosäkerheter beskrivs med hjälp av statistiska fördelningar.

## Resultat

Konceptet resulterar i ett metodiskt tillvägagångssätt för att skapa underlag för beslut avseende mikrobiella riskminskningar i grundvattensystem för dricksvattenproduktion.

Fokus ligger på identifiering av alternativ samt en mer detaljerad beskrivning för beslutsanalys av de alternativ som identifierats.

## Diskussion

Dricksvattensystem är ofta komplexa samtidigt som behovet av att reducera de mikrobiella riskerna i många fall inte alltid är självklart. Ramverket bidrar till att konkretisera och systematisera många av de aspekter och faktorer som behöver beaktas av beslutsfattare vid hantering av dricksvattensrisker.

## Tack

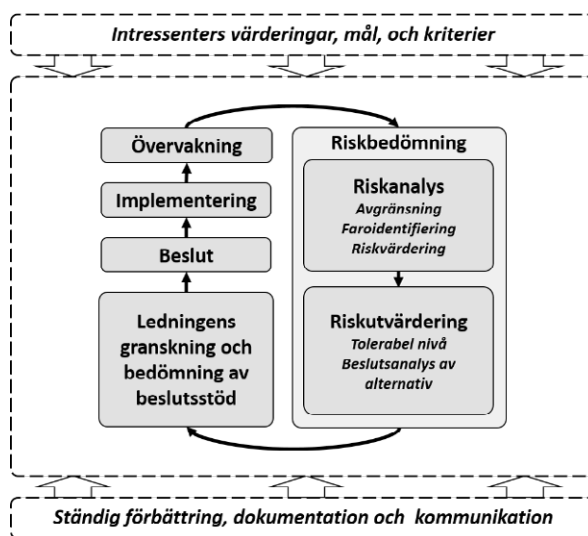
Arbetet har finansierats av Svenskt Vatten Utveckling (SVU) och Tyréns stiftelse.

## Referenser

Abrahamsson, J.L., Ansker, J. & Heinicke, G., 2009: MRA – Ett modellverktyg för svenska vattenverk. *Svenskt Vatten rapport nr 2009-05*.

Trafikverket, 2015: *Samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 5.2, Kapitel 9 Trafiksäkerhet och olyckskostnader*.

WHO, 2011: *Guidelines for drinkingwater quality – 4th edition*. World Health Organisation.



Figur 1. Förenklat ramverk för riskhantering i ett dricksvattensammanhang med fokus på beslutsstöd i form av kostnads-nyttanalyser.

# Tid för bättre vatten!

Björn Lagerdahl<sup>1</sup>, Carola Lindeberg<sup>2</sup>, Malin Naess<sup>3</sup>, Malin Petterson<sup>4</sup> & Maria Sundberg<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Vattenmyndigheten i Västerhavet, Länsstyrelsen Västra Götaland, 403 40 Göteborg

<sup>2</sup> Vattenmyndigheten i Södra Östersjön, Länsstyrelsen Kalmar, 391 86 Kalmar

<sup>3</sup> Vattenmyndigheten i Bottenviken, Länsstyrelsen Norrbotten, 971 86 Luleå

<sup>4</sup> Vattenmyndigheten i Norra Östersjön, Länsstyrelsen i Västerås, 721 86 Västerås

## Vattenförvaltning

Nu finns mycket av den kunskap och det underlag som behövs för att nå vattendirektivets mål – en god status i alla vatten. I december 2015 kommer vattenmyndigheterna att besluta om en förvaltningsplan som beskriver arbetet med vattendirektivet de kommande sex åren, miljö kvalitetsnormer för samtliga grundvattenförekomster samt ett åtgärdsprogram som visar vilka åtgärder som behöver vidtas för att uppnå målet.

## Status och risk

Av Sveriges drygt 26 000 vattenförekomster utgörs cirka 3 300 av grundvattenförekomster. Av dessa har 77 förekomster otillfredsställande kemisk status och ytterligare 515 förekomster riskerar att få sänkt status till år 2021. Nio grundvattenförekomster har otillfredsställande kvantitativ status och ytterligare 24 förekomster riskerar att få framtida problem med grundvattennivåerna.

Det är främst påverkan från förorenade områden, historisk och nutida användning av bekämpningsmedel, infrastruktur och tätbebyggelse som utgör betydande påverkanskällor. Problemen är starkt kopplad till befolkningstäthet. Bedömningen för kvantitativ status baseras på lokal kännedom om stora vattenuttag och vattenbrist i brunnar. Problem med kvantitativ status berör mestadels södra och östra Sverige.

## Åtgärder

Åtgärdsprogrammet omfattar de vatten som riskerar att inte nå god status och visar hur den betydande påverkan kan minskas. Det är myndigheter och kommuner som ansvarar för att genomföra åtgärderna inom sina verksamhetsområden, genom till exempel föreskrifter, vägledning och tillsyn. För grundvattnet syftar de viktigaste åtgärderna till minskad spridning av föroreningar, dels pågående spridning från förorenade områden och nuvarande verksamheter så som användning av pesticider, dels i förebyggande syfte för att förhindra spill och olyckor. Det finns också behov av ökad tillsyn av vattenuttag.

I hela Sverige finns ett stort behov av åtgärder för att säkra dricksvattenproduktionen. Risker för råvattnets kemiska status måste utredas och myndigheter och kommuner måste i hög grad öka takten med att inrätta vattenskyddsområden, bedriva tillsyn och ta fram relevanta tillsynsvägledning. Regionala vattenförsörjningsplaner kan vara en hjälp för både kommuner och länsstyrelser i arbetet med att prioritera områden för dricksvatten, både nutida och de som behövs i framtiden.

## Övervakning

Övervakningsprogrammet, som beskrivs i förvaltningsplanen, visar den övervakning som statusklassificeringen bygger på. Dataunderlaget för grundvatten kommer främst från nationell övervakning av Sveriges geologiska undersökning (SGU), regionala undersökningar inklusive screeningar och studier av förorenade områden, samt data från kommunal råvattenkontroll (via Vattentäcksarkivet).

Kunskapen om grundvattenförekomsterna har förbättrats avsevärt sedan förra cykeln, men underlaget är fortfarande mycket bristfälligt. Endast drygt 20 procent av alla grundvattenförekomster övervakas kemiskt och cirka 2 procent kvantitativt. Övervakningsprogrammet kommer att utvärderas och utifrån en bristanalys ska ett framåtsyftande och mer heltäckande program föreslås.

## Miljö kvalitetsnormer

Majoriteten av grundvattenförekomsterna når god status till år 2015, för övriga finns tidfrister satta till år 2021 eller år 2027. Vilket år beror bland annat på vilka åtgärder som kan vidtas och effekterna av dessa. Endast två grundvattenförekomster omfattas av mindre strängt krav på grund av att det saknas åtgärder som kan bidra till en ökad status.

## Data finns samlad

I databasen Vatten Information System Sverige (VISS, [www.viss.lansstyrelsen.se](http://www.viss.lansstyrelsen.se)) finns samtliga vattenförekomster beskrivna. Här finns bland annat information om status, påverkanskällor, riskbedömning, skyddade områden, övervakningsstationer, åtgärdsbehov och mycket mer. I VISS finns också samtliga miljö kvalitetsnormer presenterade per vattenförekomst.

## Allas ansvar

Förvaltningsplanen, förslag till miljö kvalitetsnormer och åtgärdsprogram har varit på remiss under våren 2015. Många har varit engagerade och synpunkter från nästan 1000 remissinstanser har bidraget med synpunkter. Förslagen arbetas om efter synpunkterna och beslutet i december kommer därmed att innehålla mycket av den kunskap om status, problem och påverkanskällor, samt åtgärder som behövs för att säkerställa ett långsiktigt och hållbart utnyttjande av våra vattenresurser. Därefter är det upp till myndigheter och kommuner att se till att åtgärderna genomförs. Nu är det tid för bättre vatten!

För att få tillgång till samtliga dokument se [www.vattenmyndigheterna.se](http://www.vattenmyndigheterna.se)

# Användning av konceptuella hydrogeologiska modeller i samband med infrastrukturprojekt

Ola Landin

Trafikverket, Stora projekt, 172 90 Sundbyberg

## Hur fungerar systemet här då?

En konceptuell modell beskriver hur man förväntar sig att förhållandena ser ut på platsen idag. Modellen svarar även på frågan varför det ser ut som det gör, dvs. vilka processer ligger bakom de iakttagelser man kan göra.

Konceptuella hydrogeologiska modeller används i allmänhet idag i olika grad i olika skeden av planeringen av en infrastrukturanläggning. De kan dock skilja sig rätt mycket åt och en mer strukturerad användning av dem vore önskvärt. Det händer även att man hoppar över dem i tidiga skeden och går direkt på detaljerade utredningar, beräkningsmodeller eller tekniska lösningar vilka då inte får det värde de skulle fått med en välgrundad konceptuell förståelse som grund.

Jag vill med denna presentation slå ett slag för gemensamt accepterade konceptuella hydrogeologiska modeller i tidiga skeden som ligger till grund för fortsatt arbete och som förfinas allteftersom projektet framskrider. Jag vill också visa exempel på hur Trafikverket använt sig av konceptuella modeller och hur de har kommunicerats.

## Varför konceptuella modeller?

Allt fler infrastrukturanläggningar byggs under mark, särskilt i stadsnära områden. Detta ställer krav på god hydrogeologisk förståelse. Denna förståelse är avgörande för att styra arbetet, bedöma projektets konsekvenser och ställa rätt tekniska krav.

Det är många intressen som ska vägas samman för att optimera anläggningen och det är inte säkert att förståelsen för de hydrogeologiska förutsättningarnas betydelse är så stor. Ofta är det många personer som är inblandade, inom projektens egna organisationer, bland boende inom de områden som berörs och hos de myndigheter som har till uppgift att granska projekten. Detta ställer krav på att en gemensam bild kan kommuniceras för att uppnå acceptans för projektet och nödvändiga försiktighetsåtgärder.

## Vad innebär det i praktiken?

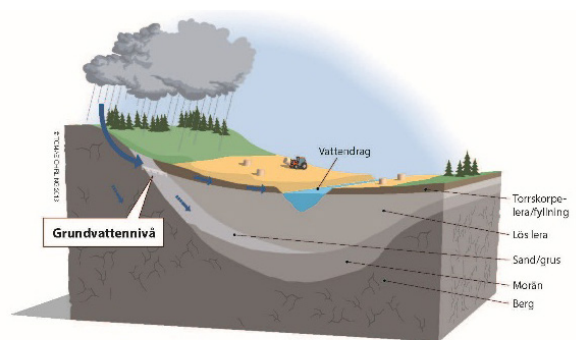
För en konceptuell hydrogeologisk systemförståelse behöver ofta ett betydligt större område än det som ytmässigt berörs av den planerade anläggningen studeras. Detta skiljer arbete med hydrogeologi från flera andra teknikområden. Det innebär också att det aldrig kommer finnas lika tätt med faktiska observationspunkter inom hela området utan man får i allt högre grad förlita sig på en välgrundad tolkning av systemet där de iakttagelser som kan göras utgör ledtrådar. Det kräver också förståelse av hur förutsättningarna varierar inom det hydrogeologiska systemet. Ett bra stöd är också erkända referenser.

## Litteratur

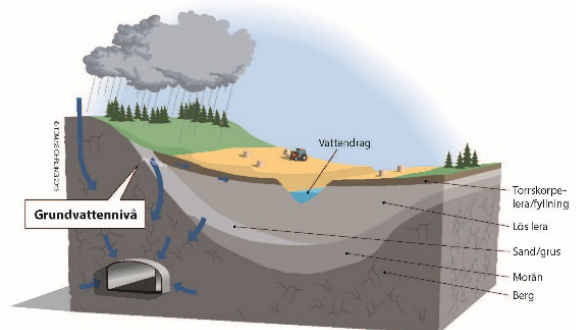
Trafikverket, 2014: *Påverkan och skydd av grundvatten – E4 Förbifart Stockholm*. Trafikverket dokument 100693, mars 2014.

Konsortiet Förbifart Stockholm, 2011: *E4 Förbifart Stockholm. PM Hydrogeologi. Tillståndsansökan miljöbalken*.

Konsortiet Förbifart Stockholm OG14H032, 2011-06-01.

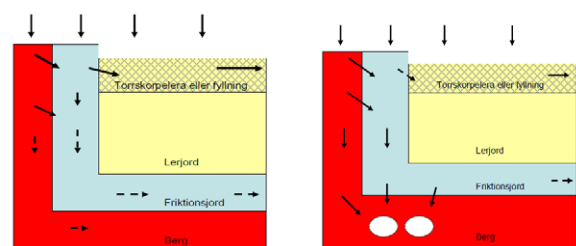


Så här ser det ut normalt, marken är mättad på vatten. När vatten tillförs när det regnar rinner det mesta av vattnet ytligt till närmast vattendrag.



När en tunnel byggs kommer en del av grundvattnet att rinna in i tunneln. Det underskott som då uppstår i den omgivande marken fylls på av regn och ytligt vatten från jorden runt omkring. Vattemnivåerna i vattendrag kan sjunka utan att det märks på grundvattennivån.

Figur 1. Så här kan en hydrogeologisk konceptuell modell för ett tunnelprojekt illustreras i en presentation för allmänheten.



Figur 2. Och så här kan samma modell beskrivas schematiskt i en teknisk PM.

# Grundvattenbildningens storlek i sandig silt

Magnus Liedholm

Sweco Environment, Skånegatan 3, Box 5397, 402 28 Göteborg

## Problembeskrivning

Grundvattenbildningens storlek, tillsammans med grundvattenmagasinets hydrogeologiska egenskaper och uttag, är centrala parameterar för att upprätta grundvattenbalanser och beskriva grundvattenpåverkan. Tillsammans beskriver de ett samverkande jämviktstillstånd mellan påverkan och effekt.

Mer eller mindre omfattande undersökningar ger mer eller mindre representativa mått på egenskaper, och väl fungerande metoder existerar. För bestämning av grundvattenbildningen är dock osäkerheten större. Därför blir grundvattenbildningens storlek ofta framtagen med schabloner (se t.ex. Knutsson & Morfeldt 1973).

En trovärdig lösning på grundvattenbildningens storlek underlättas naturligtvis av att finna ett tydligt avgränsat grundvattenmagasin av tillräcklig storlek som utan ytvattenavrinning naturligt avbördas via en enda smal ”grundvattenkanal”, och att denna ”grundvattenkanal” flödesegenskaper kan beskrivas. Genom kunskap om dess transmissivitet, naturliga grundvattengradient och kanalarean samt grundvattenmagasinets area, kan grundvattenbildningen beräknas för aktuell jordartstyp och nederbörd. Problemet är främst att finna sådana ideala områden. Ett sådant område finns i Kallebäck, östra Göteborg, beläget något under högsta kustlinjen (här ca +95 m ö.h.).

## Grundvattenbildningen i Kallebäck

Området hyser idag nödvattenbrunnar åt Göteborgs Stad. Pågående grundvattenuttag saknas. Nederbördsområdet i Kallebäck är skarpt avgränsat utom i söder. Marknivån centralt är relativt konstant. Ytvattendrag saknas i området. Medelnederbörden var ca 900 mm per år och tillrinningsområdet är ca 0,45–0,50 km<sup>2</sup>. Magasinet består huvudsakligen av sandig silt som överlagrar sandigt grus. Under detta material finns morän på berg. Jordmäktigheten är maximalt ca 20 m och grundvattennivån är belägen drygt 7 m under markytan. Grundvattenavflödet härifrån sker i en smal ”kanal” förbi Kallebäckskällan mot väster. Grundvattnet flödar slutligen ut i en smal passage strax nedströms Kallebäckskällan med ca 40 m bredd över en jordtäckt bergtröskel med endast ca 2 m jordmäktighet.

Nettonederbörden ansätts preliminärt till ca 570 mm per år, vilket också stämmer väl med vad som kunde tas ut från driftsdata i ett angränsande mindre vattentäktområde (Gundla mosse). Nettonederbörden kan vara något större, en vattendom från år 1959 angav 630 mm per år.

Grundvattenbildningen har sökts via passning med linjär optimering (Excels Solver), så att ekvationen  $W \cdot A - T \cdot i \cdot B = 0$ , dvs.  $Q_{in} - Q_{ut} = 0$ , och att  $Q_{ut}$  är historiskt

uttaget maximalt långtidsflöde (8–9 l/s). Givet indatas åsatta osäkerhetsintervall: gradienten  $i \in [4-5 \text{ \%}]$ , transmissiviteten  $T \in [5 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}]$ , flödesbredden  $B \in [35-45 \text{ m}]$ , grundvattenbildningen  $W \in [300-600 \text{ mm per år}]$ , flödet  $Q \in [8-9 \text{ l/s}]$  och tillrinningsarean  $A \in [0,45-0,50 \text{ km}^2]$ , beräknas den sökta grundvattenbildningen  $W$ . En av många möjliga och exakta lösningar är:  $i = 4 \text{ \%}$ ,  $T = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $B = 40 \text{ m}$ ,  $W = 504 \text{ mm per år}$ ,  $A = 0,50 \text{ km}^2$  och  $Q_{in} = Q_{ut}$  blir då 8,0 l/s, men flödet kan vara uppemot 9 l/s.

Grundvattenbildningen är därför 500–560 mm per år inom tillåtligt intervall 300–600 mm per år. Detta är minst 90 procent av nettonederbörden (infiltrationsfaktor >90 procent) och minst 55 procent av bruttonederbörden (infiltrationskoefficient >55 procent). Denna ligger inom vad Knutsson & Morfeldt (1973) antyder som riktvärdesintervall för aktuell ytjord (sandig silt), här hydrogeologiskt insorterad mellan ”lera/morän” (0,1–0,3) och ”sand/grus” (0,6–0,8), dvs. grovt runt (0,3)–0,6. Grundvattenbildningen 500–560 mm per år, verifierar också mycket väl den grundvattenbildning i området som Rohde m.fl. (2006) redovisar i karta till ca 525–600 mm per år för grov jord (”grovmå, sand, grus/isälvs sediment”) utifrån en oberoende vattenbalansmetod. Översiktligt kan också kloridbalansmetoden användas, men osäkert här i området alldeles under högsta kustlinjen. Jungfruliga kloridhalter i magasinet var runt 20 mg/L på 1940-talet. Nederbördens (våta) kloridhalt är här runt 2–3 mg/l. Torrdepositionen skattas osäkert till 10 mg/L. Då beräknas grundvattenbildningen med  $W = N \cdot (Cl_N/Cl_G)$  till  $900 \cdot (12,5/20) \approx 560 \text{ mm/år}$ , förutsatt utan tillskott av antropogent och relict klorid. Inte heller resultatet från denna oberoende metod avviker påtagligt från optimeringsresultatet.

## Sammanfattning

Grundvattenbildningen i sandig silt är 500–560 mm per år i Kallebäck, Göteborg enligt en balansberäkningsoptimering. Storleken verifieras av oberoende studier och metoder om respektive 525–600 mm per år (hydrologisk vattenbalansmetod) och 560 mm per år (kloridbalansmetod) samt av schablon enligt Knutsson & Morfeldt (1973) om (270–)540 mm per år. Allt sammanvägt lika, erhålls ca 550 mm per år. Detta motsvarar infiltrationskoefficienten  $W/N = (550/900)$  eller runt 60 procent.

## Referenser

- Knutsson, G. & Morfeldt, C.-O., 1973: *Vatten i jord och berg*, Ingenjörsvetenskapsakademien.
- Rohde, A., Lindström, G., Rosberg, J. & Pers, C., 2006: Grundvattenbildningar i svenska typjordar. *Uppsala Universitet, Rapport A No. 66*.



# Värdet av grundvattenkontroll utifrån en systemanalys

Magnus Liedholm

Sweco Environment, Skånegatan 3, Box 5397, 402 28 Göteborg

## Problembeskrivning

I större infrastrukturprojekt utförs hydrogeologiska undersökningar i olika skeden och av olika aktörer, till skillnad ifrån många andra hydrogeologiska uppdrag.

Risker som introduceras via grundvattnet i infrastrukturprojekt beror exempelvis på otillräckliga förkunskaper, bristande erfarenhet, otillräckliga undersökningar om förutsättningarna, bristande tolkning av förutsättningarna, olämplig anpassning till hydrogeologin, svag kommunikation om förutsättningarna, olämplig teknisk lösning, otillräcklig projektering, olämplig entreprenadform, otillräckliga organisationer, olämpligt utförande samt otillräckligt kontroll- och åtgärdssystem. Dessa riskkällor kan exempelvis sammanfattas till fyra kategorier; Förutsättningar, Design, Organisation och Utförande. En principiell fråga är hur brister inom dessa fyra kan ge konsekvenser via grundvattnet. Det kan illustreras med systemanalys.

## Systemanalys

Med tillförlitlighet  $R$  (reliability) avses förmågan hos en komponent i ett system att fullgöra sin avsedda funktion. Tillförlitligheten  $R$  är också lika med  $(1-p)$ , där  $p$  är sannolikheten för fel. För infrastrukturprojekt motsvarar tillräckligt hög tillförlitlighet utifrån ett hydrogeologiskt perspektiv, att inte påverka grundvattnet så att betydande skada sker, dvs. att designa, planera, täta och kontrollera anläggningen tillräckligt väl mot främst skadligt inläckage.

Tillförlitligheten för hela systemet (anläggningen), är med en enkel systemmodell uppbyggd av tillförlitligheterna för delkomponenterna förutsättningar, design, organisation och utförande. Brister inom dessa kan påverka grundvattnet så att betydande skada från anläggningen uppkommer. Då är  $R_{Anl} = 1-p = 0$ .

Ett system där delkomponenterna verkar i serie, har följande sammantagna tillförlitlighet:

$$R_{Serie} = R_F \cdot R_D \cdot R_O \cdot R_U \quad (\text{ekv 1})$$

Ett seriellt system kollapsar när endera eller flera av komponenterna kollapsar ( $R_i = 0$ ), oavsett tillförlitligheterna hos de övriga komponenterna ("svagaste länken").

Ett system med delkomponenterna parallellt med varandra, har istället tillförlitligheten:

$$R_{Parallell} = 1 - (1 - R_F) \cdot (1 - R_D) \cdot (1 - R_O) \cdot (1 - R_U) \quad (\text{ekv 2})$$

Ett parallellt system motstår viss påfrestning. Delkomponenterna täcker upp för varandra så att systemet inte brister, även om någon del brister. Varje systemtillförlitlighet ligger inom det seriella och det parallella systemets tillförlitligheter (Harr 1987).

## Värdet av kontroll- och åtgärdssystem

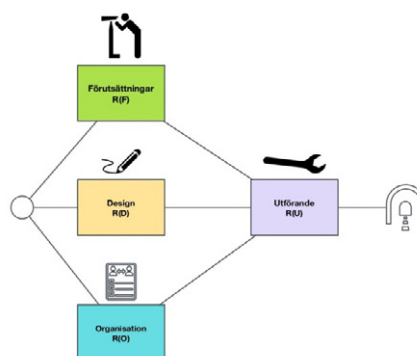
Anläggningens totala tillförlitlighet består här av två huvuddelar: först  $R_F$ ,  $R_D$  (som tillhör projekteringen) och  $R_O$  i projekterings- och byggskedet. Den andra efterföljande delen är  $R_U$ . I byggskedet förväntas att utförandet och kontroll ( $R_U$ ) slutligen hanterar alla eventuella kvarvarande oacceptabla brister från tidigare projektering ( $R_F$  och  $R_D$ ) med stöd av  $R_O$ . Detta betyder, som en av några möjliga modeller, att  $R_F$ ,  $R_D$  och  $R_O$  först samverkar parallellt med varandra och att  $R_U$  slutligen tar över ansvaret. Då blir systemtillförlitligheten för att komponenterna medverkar till täthet och att ingen betydande skada via grundvattnet uppstår:

$$R_{Tätning} = [1 - (1 - R_F) \cdot (1 - R_D) \cdot (1 - R_O)] \cdot [R_U] \quad (\text{ekv 3})$$

Modellen (fig. 1) både visar och kvantifierar att hög tillförlitlighet i utförandet ( $R_U$ ) förmår att kompensera även för måttliga tillförlitligheter hos beskrivning av förutsättningar ( $R_F$ ), design ( $R_D$ ) och organisation ( $R_O$ ), vilket är rimligt. Om  $R_U$  är 90 procent och  $R_F$ ,  $R_D$  och  $R_O$  sänks, så förmår  $R_U$ -värdet att vidmakthålla högt värde på  $R_{Tätning}$  ner till att  $R_F$ ,  $R_D$  och  $R_O$  sänkts till cirka 60 procent. Då blir  $R_{Tätning}$  alltså så högt som 84 procent. Hög tillförlitlighet inom själva utförandet, och inom grundvattenkontroll, tätningskoncept och åtgärder, kan alltså till viss del kompensera för brister inom förutsättningar, design och organisation. Metoden och modellen säger något om varför och hur "design-as-you-go", "active design" och observationsmetoden fungerar. Modellen demonstrerar också varför en lägstanivå måste finnas inom undersökningar, design och organisation för att ett rimligt kontroll- och åtgärdssystem för grundvattnet i byggskedet över huvudtaget ska kunna kompensera för brister eller underlåtenheter. Denna slutsats är intuitiv och rimlig.

## Referenser

Harr, M.E., 1987: *Reliability-based design in civil engineering*. McGraw-Hill.



Figur 1. En modell av det samverkande systemet för genomförande av infrastrukturprojekt.

# Saltvatteninträngning vid uttag av grundvatten från kustzon

Johanna Lithén<sup>1</sup> & Karin Törnblom<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bergab – Berggeologiska undersökningar AB, Stampgatan 15, 416 64 Göteborg

<sup>2</sup> Bergab – Berggeologiska undersökningar AB, Vretenvägen 12, 171 54 Stockholm

## Problematik

Vid grundvattenuttag i kustzoner finns risk för saltvatteninträngning och flera kustkommuner har problem med vattenförsörjning. Saltvatten är tyngre än sötvatten och tränger därför in under det söta grundvattnet. Vid för stora uttag, eller i för djupt borrade brunnar, kan man få saltvatteninträngning i akvifären med sött grundvatten, se princip i figur 1.

Vid fortsatt bebyggelseutveckling utanför områden med kommunalt VA krävs därför att en långsiktigt hållbar vattenförsörjning kan konstateras.

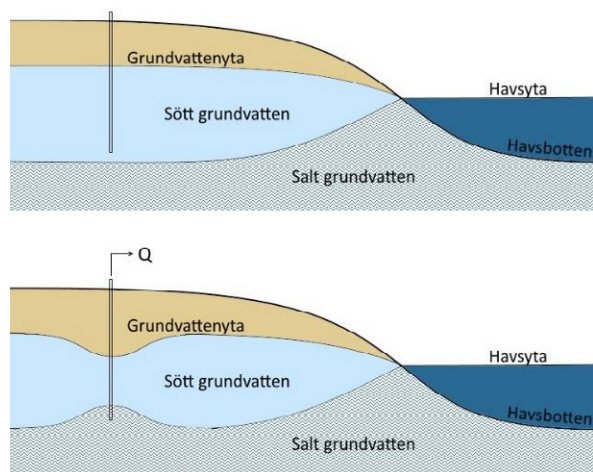
## Riktlinjer, krav och indikationer

Riktlinjer har tagits fram av kommunerna för att säkerställa en långsiktigt hållbar vattenförsörjning. Region Gotlands riktlinjer anger t.ex att tillgänglig vattenmängd bör vara 600 l per hushåll och dygn (dvs. 10 l/min) samt att kloridhalten i dricksvatten vid nyexploatering inte får överstiga 100 mg/l. I övrigt ska dricksvattnet vara tjänligt enligt Socialstyrelsens riktlinjer (SOSFS 2003:17). För att säkerställa detta måste

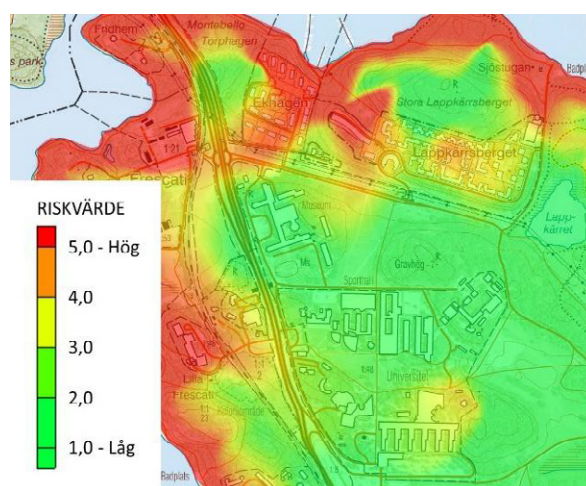
vid utsatta platser en längre provpumpning utföras under sommarhalvåret då tillgången på grundvatten är som lägst. Ökar kloridhalten under pumpning finns en överhängande risk för saltvatteninträngning vid etablering.

## Riskmodell

För större områden kan en spatial riskmodell upprättas, vilken beskriver risken för saltvatteninträngning. Utifrån fältundersökningar och insamlad data skapas en konceptuell hydrogeologisk modell som beskriver de viktigaste variablerna som styr risken för saltvatteninträngning, t.ex geologiska förhållanden, grundvattenbildningsområden, topografi, närhet till havet och uttag av vatten. Ett riskvärde som sammanfattar risken för förekomst av salt grundvatten beräknas. Riskvärdet är en summa av de viktade, normerade variabler som ingår i den konceptuella modellen. Riskmodellen redovisas som ett GIS-lager, se exempel i figur 2. Riskmodellen kan exempelvis svara på hur många hushåll inom ett visst område som kan ha en hållbar vattenförsörjning.



Figur 1. Saltvatteninträngning vid grundvattenuttag.



Figur 2. Exempel på hur resultat från en modell som beskriver risken för salt grundvatten genom ett riskvärde (1–5) kan se ut.

# Analysis of groundwater level changes and land subsidence in Gothenburg, SW Sweden

Johanna Ljungdahl & Roland Barthel

Department of Earth Sciences, University of Gothenburg, Box 460, 405 30 Göteborg

Changes of groundwater heads in aquifers confined by thick clay layers, can lead to land subsidence and subsequently severe damages to building and infrastructures. The geology in Gothenburg is dominated by deep valleys, with thick overlaying clay layers, generating substantial geotechnical challenges.

Groundwater level observations have been carried out in Gothenburg since the 1970s. Today, Stadsbyggnadskontoret in Gothenburg monitors the groundwater level in 140 observations wells.

The aim of this study was to analyze the sources of groundwater level changes and land subsidence in Gothenburg, using groundwater time series and stratigraphic data from Stadsbyggnadskontoret, climate data (precipitation and evaporation) from SMHI and CRU and subsidence data from PanGeo (<http://www.pangeoproject.eu/>).

In general, the groundwater levels in Gothenburg show a rising trend, following the common trend of precipitation. In the central parts of the city the levels are obviously recovering from the deep drawdowns in the 1970s. Underground constructions and groundwater drainage have contributed to, in general, lower groundwater level today than before 1970.

Groundwater levels respond to changes in precipitation with only a few months delay, indicating that the mechanism of recharge is fast and that the groundwater level variations are mainly driven by weather and climate.

Analyzing the relation between lowering of groundwater levels, clay thickness and subsidence rate shows some correlation between subsidence rate and clay thickness and in some areas correlation between subsidence rate and lowered groundwater level.

An attempt to locate infiltration areas and estimating groundwater recharge to the lower aquifer was made by using a conceptual model and infiltration coefficients for different soil types. The results showed a groundwater recharge of 8.5–38 mm/year. In some locations there are indications that the main recharge to the lower aquifer occurs where coarser material connected to the lower aquifer crops out.

The assessment of groundwater level changes and groundwater recharge in Gothenburg city is challenging, not only because the mechanisms of natural recharge are largely un-

clear, but also as a result of human interference of different kinds. Leaking pipelines and purposeful infiltration and extraction to stabilize groundwater levels in sensitive areas are only two factors that have to be taken into account.

It is crucial to be able to predict groundwater levels under conditions of climate change and as a consequence of infrastructure projects. Therefore, we recommend to perform a comprehensive, integrated analysis of groundwater level changes, land subsidence and human interference. A prerequisite for this would be a consistent hydrogeological model of the Gothenburg urban area that captures all sources and sinks and takes the complex stratigraphy into account.

## Literature

- Lerner, D.N., 2002: Identifying and quantifying urban recharge: a review. *Hydrogeology Journal* 10, 143–152.
- Norin, M., Hultén, A.M. & Svensson, C., 1999: Groundwater studies conducted in Gothenburg, Sweden. *International contributions to hydrogeology* 21, 209–216.
- PanGeo: *Persistent Scatter Interferometry (PIS) satellite data*. <<http://www.pangeoproject.eu/>> Data retrieved 2014.
- Svensson, C., 1984: Analys och användning av grundvattennivåobservationer. *Chalmers tekniska högskola och Göteborgs universitet, Geologiska institutionen, Publ. A49*.

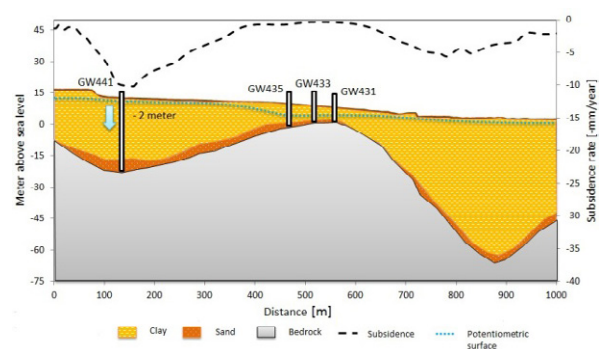


Figure 1. Geological cross section, Linnégatan (Linnéplatsen–Järntorget). Clay thickness, subsidence rate and area with lowered groundwater level. The water table in observation well GW441 has been lowered c. 2 m.

# Hur når vi miljö kvalitetsmålet *Grundvatten av god kvalitet*?

Lars-Ove Lång<sup>1</sup>, Helena Dahlgren<sup>2</sup>, Lena Maxe<sup>3</sup>, Björn Holgersson<sup>1</sup>, Karin Grånäs<sup>2</sup> & Hanna Wåhlén<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sveriges geologiska undersökning, Guldhedsgatan 5A, 413 20 Göteborg

<sup>2</sup> Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala

<sup>3</sup> Sveriges geologiska undersökning, Box 17155, 104 62 Stockholm

## Fördjupad utvärdering 2015 sammanfattar miljömålsarbetet

Tillståndet i miljön i förhållande till Sveriges 16 miljö kvalitetsmål avrapporteras varje år i Årlig uppföljning, senast 2015 (Naturvårdsverket 2015a). Fördjupade utvärderingar genomförs med några års mellanrum. Den senaste Fördjupade utvärderingen av miljö kvalitetsmålen, FU15 (Naturvårdsverket 2015b), omfattar för varje mål: 1) uppföljning av miljö tillstånd och miljö arbete, 2) analys av förutsättningar och orsaker till situationen, 3) bedömning av om målet nås, 4) prognos för utveckling av miljö tillståndet, samt 5) beskrivning av behov av insatser – vad krävs för att målet ska nås.

## Uppnås målet *Grundvatten av god kvalitet* till 2020?

SGU, som ansvarar för uppföljning av målet, bedömer att miljö kvalitetsmålet inte är uppnått och att det inte kommer att nås till 2020. Det beror på att de styrmedel och åtgärder som genomförts hittills inte räcker ända fram.

## Vilka insatser behövs för att nå målet?

SGU ger en rad förslag i FU15 på insatser för grundvattenmålet (Naturvårdsverket 2015b, vol 1. sid 370–427). För varje förslag finns en motivering samt förslag på utförare. Där så är lämpligt anges i FU15 förslag på indikatorer eller andra uppföljningsmått, i de flesta fall kopplade till målmanualen för miljö kvalitetsmålet (Lång m.fl. 2014). Nedan sammanfattas de flesta förslagen i FU15. De är uppdelade utifrån den indelning i centrala problemställningar som legat till grund för den fördjupade utvärderingen av grundvattenmålet.

## Grundvattnets kvalitet och grundvatten inom vattenförvaltningen

Övervakningen av Sveriges grundvatten behöver förbättras för att kunna sätta in rätt åtgärder på rätt platser. Det innebär bland annat fler provtagningsplatser och analys av fler ämnen än vad som görs idag. För bättre samordning av insamling, datalagring och utvärdering av grundvattenanalyser föreslås SGU få utökat ansvar för detta. Det är önskvärt med ökad samverkan mellan vattenförvaltningen och vattenproducenterna kring risker och åtgärdsbehov som finns för våra grundvattentäkter. Kartläggningsmetodik för att beskriva föroreningsproblem i grundvatten bör vidareutvecklas. Utökad information till brunnägare och kommuner bidrar till att uppnå bättre dricksvattenkvalitet inom enskild vattenförsörjning.

## Medvetenhet och planering

Utökad hänsyn till grundvattnet är en förutsättning för att hindra förorenings spridning och förändrade grundvattennivåer, vilket framför allt bör uppmärksammas mera i urbana miljöer. Ökad hänsyn till grundvattnet inom jord- och skogsbruket är angeläget. I tillstånds- och tillsynsärenden behövs därför krav på att effekterna på grundvattnet beskrivs och följs upp. Grundvattnets betydelse behöver också lyftas fram inom samhällsplaneringen och vattenförvaltningen. Det innebär bland annat 1) fler vattenförsörjningsplaner på regional och kommunal nivå, 2) fler vattenskyddsområden, samt 3) uppdaterade vattenskydds föreskrifter.

## Grundvattenpåverkan på akvatiska livsmiljöer

Förhållanden i grundvattnet kan påverka ytvattenmiljöer. Dels sprids föroreningar i grundvattnet till ytvattnet, och dels kan höga eller låga grundvattennivåer få effekter i våtmarker, källområden och vattendrag. För att öka kunskapen om grundvattenberoende ekosystem krävs fortsatt och utökad kunskapsinhämtning och metodutveckling. Kartläggning av källor och åtgärder för bevarande av källor måste också prioriteras.

## Naturgrusavlagringar

Våra naturgrusavlagringar är mycket viktiga grundvattenmagasin. För att fortsätta minska användningen av naturgrus och påskynda övergången till alternativa material (t.ex. krossat berg) behövs bl.a. 1) utökad kartläggning av bergmaterial, 2) fler materialförsörjningsplaner, samt 3) policydokument med denna inriktning framtagna av aktörer inom branschen.

## Referenser

- Naturvårdsverket, 2015a: Miljö målen. Årlig uppföljning av Sveriges miljö kvalitetsmål och etappmål 2015. *Naturvårdsverket Rapport 6661*.
- Naturvårdsverket, 2015b: Mål i sikte. Analys och bedömning av de 16 miljö kvalitetsmålen i fördjupad utvärdering. *Naturvårdsverket Rapport 6662*.
- Lång, L.-O., Maxe, L., Wåhlén, H. & Dahlgren, H., 2014: *Målmanual för uppföljning och bedömning av miljö kvalitetsmålet Grundvatten av god kvalitet*. Sveriges geologiska undersökning, rapport, Dnr: 39-54/2014.

# Järnvägsprojektet Götalandsbanan – geologisk och hydrogeologisk information från SGU

Lars-Ove Lång<sup>1</sup>, Åsa Lindh<sup>1</sup>, Ulf Bergström<sup>1</sup>, Thomas Eliasson<sup>1</sup>, Mats Engdahl<sup>1</sup>, Cecilia Jelinek<sup>2</sup>, Lena Lundqvist<sup>1</sup>, Lena Persson<sup>2</sup> & Otto Pile<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sveriges geologiska undersökning, Guldhedsgatan 5A, 413 20 Göteborg

<sup>2</sup> Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala

## Ny järnvägssträckning Göteborg–Jönköping planeras

Ny järnvägssträckning från Göteborg till södra stambanan, med anslutning öster om Jönköping, är ett i raden av stora planerade infrastrukturprojekt i landet. Projektering är påbörjad inom delsträckor mellan Göteborg och Borås. En preliminär järnvägskorridor är framtagen för hela sträckningen.

## Samlad geologisk och hydrogeologisk information underlättar planering och byggande

SGU arbetar inom projektet Götalandsbanan med att komplettera, uppdatera och harmonisera befintlig geologisk och hydrogeologisk information och ta fram temakartor inom den föreslagna järnvägskorridoren. Redovisning sker dels i databaser, dels i sammanställda rapporter. En första rapport som avser sträckan Göteborg–Borås är utgiven (Bergström m.fl. 2015). En samlad rapport för hela sträckningen färdigställs under 2015. Genomförandet sker i nära samarbete med Trafikverket och andra involverade i projekteringen.

## Vilken information ingår?

Produkterna som tas fram är databaser och kartor över berggrund, bergkvalitet för väg, jordarter och grundvatten. Dessutom ingår temakorterna *jorddjupsmodell*, *lineament* samt *aktsambet*, *markstabilitet*. Vid genomförandet har kompletterande fältarbete utförts. Dessutom har 1) ny information som regelbundet samlas in till SGU, 2) nya utvärderingsmetoder samt 3) Lantmäteriets höjdmödel (NH), varit avgörande för att ta fram produkterna.

## Berg och jord

Berggrunden längs Götalandsbanan kan delas i två olika delar separerade vid Bollebygd av en nord–sydlig deformationszon. Bergarterna i de två delarna består av av gnejser med olika egenskaper med avseende på bergets kvalitet som makadam.

Vad gäller jordarterna finns finkorniga sediment främst i de mest markerade dalgångarna. Dessa är belägna längst i väster i Mölndal, vid Ulricehamn samt i Vättersänkan i Jönköping. I övrigt dominerar kalt berg, mer eller mindre mäktiga moränlager, torv samt isälvsavlagringar (bestående av sand och grus).

## Grundvattentillgångar i jord

I projektet ligger fokus på grundvattentillgångar i jord och de största grundvattentillgångarna finns i isälvsavlagringarna. Dessa uppträder i form av åsar eller isälvsdeltan. I projektet redovisas grundvattenmagasin i isälvsavlagringar med tillhörande uppgifter om uttagsmöjligheter och tillrinningsområden. Grundvattenmagasinens utbredning inom korridoren varierar från hela grundvattenmagasinets yta till att endast en mycket liten del av magasinet tillhör korridoren. För 33 grundvattenmagasin som bedöms vara viktigast inom korridoren kommer korta sammanfattningar att ges i den avslutande rapporten. Uppgifterna om grundvattenmagasinen tas från 1) tidigare publicerade kommunkartor över grundvattentillgångar (inom kommunerna Göteborg, Mölndal och Härryda, SGUs publikationsserie K), 2) utgivna beskrivningar avseende enskilda grundvattenmagasin (serie K), 3) ej publicerade utkast på beskrivningar, eller 4) nya sammanfattningar framtagna inom detta projekt.

## Mera grundvatten i öster

Grundvattenmagasin med bäst tillgång på grundvatten återfinns inom kommunerna Ulricehamn och Jönköping. Bedömda uttagsmöjligheter ligger i dessa i intervallet 25–125 l/s undantaget ett magasin med >125 l/s (grundvattenmagasinet Mulseryd, Persson 2014). I flera av grundvattenmagasin sker kommunalt grundvattenuttag.

## Referenser

- Bergström, U., Eliasson, T., Engdahl, E., Jelinek, C., Lindh, Å., Lundqvist, L., Lång, L.-O., Persson, L., Persson, T. & Pile, O., 2015: Geologiska data mellan Göteborg och Jönköping del 1: Göteborg–Borås. Projekt Götalandsbanan. *Sveriges geologiska undersökning, Rapport 2015:18*.
- Persson, T., 2014: Grundvattenmagasinet Mulseryd. *Sveriges geologiska undersökning K 467*.

# Grundvattennivåns betydelse för grundvattenkvaliteten i enskilda brunnar

Lena Maxe

Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala

## Inledning

Grundvattnets kemiska innehåll i en punkt kan förutsättas variera över tiden – man kan tänka sig att långsiktiga trender, säsongsvisa variationer och mer slumpvisa variationer kan förskjuta grundvattenkemin åt olika håll. Variationen kan vara verklig och representera förändringar som beror på faktiska ändringar i det infiltrerande vattnets kvalitet och därefter följande förändringar till den punkt där vattenkvaliteten observeras. Oftare så beror nog variationer i det observerade grundvattnets kvalitet på att grundvatten med olika ursprung, flödesbanor och uppehållstid provtas. Olika typer av provtagningsplatser kan ge olika resultat beroende på grundvattennivåer och vattenuttag:

1. I en källa ökar vanligtvis flödet under perioder med höga grundvattennivåer. En större andel relativt ytligt vatten med kortare uppehållstid tillför då vatten med lägre innehåll av ämnen som härrör från jordlager och berggrund.
2. Vid provtagning i ett grundvattenrör i akviferer med god vattentillgång kan prov erhållas som väl representerar en viss nivå/punkt. I lågpermeabla jordarter däremot kan en stor del av grundvattenomsättningen initieras av själva provtagningen.
3. I grävda brunnar med cementringar bör vatteninflödet ske genom botten på brunnen men ofta läcker det även in grundvatten genom väggarna på brunnen. Sammansättningen av vatten beror därför på grundvattennivå och avsänkning genom vattenuttag.
4. I en bergborrad brunn kan vatten till olika stor andel komma från sprickor på olika djup. Fördelningen av grundvatten från olika sprickor kan bero på såväl grundvattennivå som avsänkning genom vattenuttag.

I denna studie undersöks hur grundvattennivåerna påverkat grundvattenkvaliteten i enskilda vattentäkter i jordlager respektive berggrund. Analysresultat från perioden 2007–2009 har använts och resultaten jämförs med framräknade grundvattennivåer angivna som små grundvattenmagasins fyllnadsgrad.

## Beräkning av grundvattennivå – fyllnadsgrad

Små grundvattenmagasin uppvisar en betydande nivåvariation. SGU redovisar varje månad magasinens s.k. fyllnadsgrad. Beräkningen bygger på en jämförelse av ca 50 utvalda representativa stationer i SGUs grundvattennät som mäts vid månadsskifte och månadsmitt. För varje station utgör alla mätningar sedan stationens inrättande grunden för att beräkna den s.k. percentilen som får representera fyllnads-

graden för ett visst mättillfälle vid stationen. Percentilen, dvs. hur stor andel av mättillfällena som ligger under den observerade grundvattennivån har använts istället för den faktiska fyllnadsgraden för att undvika att skillnader i effektiv porositet i lagerföljden vid den specifika mätstationen får för stor betydelse. Motsvarande beräkningar har utförts för varje månadsskifte och månadsmitt för den studerade perioden och Sverigekartor för dessa tillfällen har tagits fram m.h.a. interpolation.

## Jämförelse analysresultat och grundvattennivå

För varje vattenanalys har ett värde på grundvattennivån i form av percentilen i den interpolerade kartbild som ligger närmast provtagningsstillfallet extraherats. För många av de studerade parametrarna ger denna översiktliga metod att jämföra vattenkvalitet med grundvattennivå inga tydliga skillnader mellan de olika grundvattenförhållanden, detta gäller t.ex. järn. För andra parametrar med geologiskt ursprung, däribland alkalinitet, pH, uran och fluorid tenderar halterna i brunnsvatten som provtagits under period med låga grundvattennivåer vara högre än för de brunnar som provtagits vid perioder med högt grundvattenstånd. Denna effekt är speciellt tydlig för alkalinitet i bergborrade brunnar där ett betydande antal brunnar förefaller vara påverkade av ett ytligare grundvatten vid höga grundvattennivåer. Förhöjda nitrathalten är vanligare vid höga grundvattennivåer än vid låga – speciellt tydligt är detta för grävda brunnar. Något förvånande är att innehållet av bakterier (*E. coli*, koliforma bakterier och mikroorganismer) är högre vid låga grundvattennivåer än vid högre.

## Diskussion

Att jämföra uppmätta vattenkvalitetsdata som mätts vid endast ett tillfälle i ett stort antal brunnar med beräknade grundvattennivåer får ses som en ganska oprecis utvärderingsmetod. Ingen hänsyn har t.ex. tagits till hur grundvattenbildningen varit under perioden innan provtagningen eller andra klimatfaktorer. Resultaten visar trots detta att vattenkvaliteten, även i bergborrade brunnar som antas vara skyddade från påverkan av ytligt tillkommande vatten, uppvisar ett beroende av grundvattennivån. Klimatförändringar som kan förväntas innebära mer frekvent förekommande höga respektive låga grundvattennivåer kommer således kunna öka utsattheten i många enskilda vattentäkter. Resultatet som pekar på betydelsen av den hydrogeologiska situationen vid provtagningsstillfallet har betydelse vid utformning av övervakning men visar också på behov av mer kunskap, inte minst för att kunna utforma en vattenbehandling som fungerar trots att vattenkvaliteten varierar.

# Riskkartering av bekämpningsmedel med modellen MACRO-SE

Julien Moeys<sup>1</sup>, Mikaela Gönczi<sup>1</sup>, Gustaf Boström<sup>2</sup>, Nicholas Jarvis<sup>1</sup> & Jenny Kreuger<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kompetenscentrum för kemiska bekämpningsmedel, Box 7066, Sveriges lantbruksuniversitet, 750 07 Uppsala  
<sup>2</sup>Länsstyrelsen i Skåne län, 205 15 Malmö

## Inledning

Bekämpningsmedel hittas regelbundet i grundvatten i Sverige (Larsson m.fl. 2014). Fynden domineras av idag förbjudna substanser men det är svårt att säga hur dagens bruk av bekämpningsmedel påverkar grundvattenkvaliteten då det tar tid för vattnet att infiltrera ner genom marken (Åkesson 2014). Med modellen MACRO-SE kan riskerna med användning av bekämpningsmedel i olika områden simuleras. Underlaget kan användas inom vattenförvaltningsarbetet såväl som i arbetet med dricksvattenskydd.

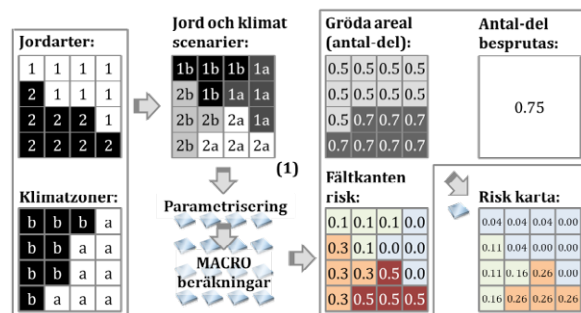
## Macro-SE

MACRO-SE är ett riskbedömningsverktyg baserat på datormodellen MACRO (Larsson m.fl. 2005) som har utvecklats inom Kompetenscentrum för kemiska bekämpningsmedel (CKB) vid Sveriges lantbruksuniversitet. Verktyget är avsett att simulera bekämpningsmedelsläckage på regional skala och är i första hand tänkt att fungera som ett beslutsstöd för myndigheter. Simuleringarna kan visa vilka substanser som kan utgöra en risk för läckage till grund- och ytvatten samt i vilka områden risken är störst. Resultaten kan användas inom vattenförvaltningsarbetet för påverkansanalysen, för att utforma en kostnadseffektiv miljöövervakning samt för att kunna sätta in riktade åtgärder. Även inom arbetet med dricksvattenskydd kan simuleringsresultat vara till stor nytta.

Körning av MACRO-SE görs genom att scenarier för bekämpningsmedelsanvändning definieras: substans, dos, gröda samt tidpunkt för besprutning. Inbyggt i MACRO-SE finns underlag för bekämpningsmedlets egenskaper, jordartsdata, klimatdata samt markanvändning i hela södra Sverige (fig. 1).

## Resultat och diskussion

Resultaten från simuleringarna med MACRO-SE redovisas som riskkartor med den simulerade koncentrationen av be-



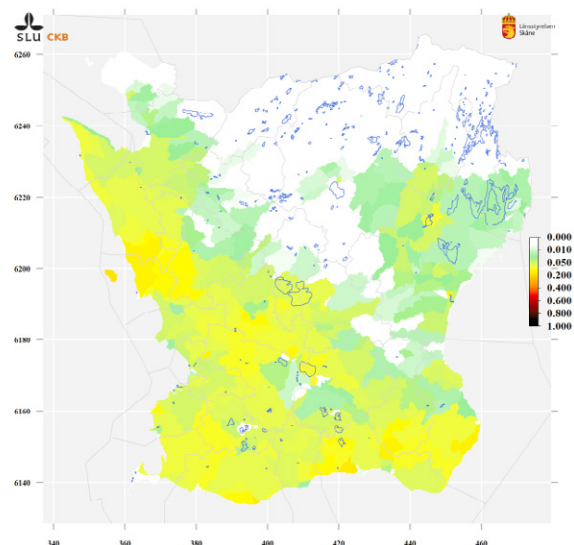
Figur 1. Principbild för hur data från olika underlag kombineras i MACRO-SE.

kämpningsmedlet i vatten på 2 m djup i markprofilen, på väg ner mot grundvattnet, samt i dräneringsrören till ytvatten. I en rapport från CKB (Boström m.fl. 2015) har simuleringar för läckage av sex olika bekämpningsmedelssubstanser till grundvatten i Skåne genomförts. Resultaten visar att andelen åkermark, samt hur stor del av denna som odlas med en gröda som substansen används i, har stor betydelse för vilka områden som visar hög risk. I figurerna 2 och 3 visas ett exempel med höstbesprutning med ogräsmedlet metazaklor i höstraps.

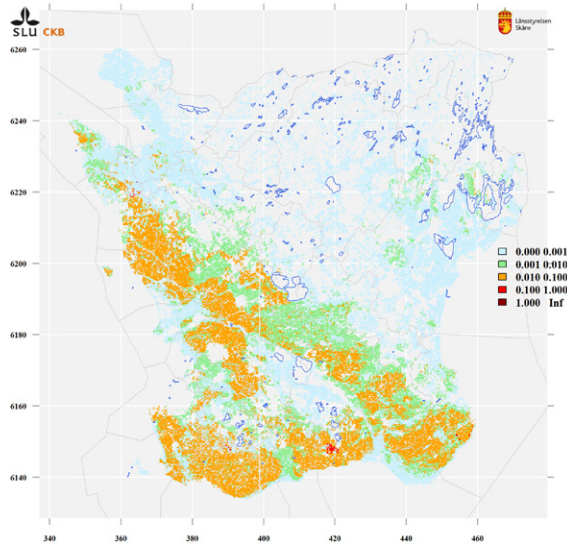
Jordartens egenskaper påverkar hydrologin i området och styr om överskottsvattnet (innehållande eventuella rester av bekämpningsmedel) transporteras ner till grundvattnet och/eller till ytvattnet. Detta syns t.ex. i nordvästra Skåne där risken för läckage av metazaklor till grundvatten är låg, trots en relativt stor andel höstraps. Risken för läckage till ytvatten är klart större i detta område, vilket framgår i en tidigare rapport från Länsstyrelsen Skåne (Boström 2014).

Även tidpunkten för besprutning är avgörande. Generellt ger höstbesprutning högre risker än vårbesprutning, vilket till stor del beror på skillnaden i temperatur och nederbörd mellan vår och höst.

Jämförelser med uppmätta halter i grundvatten visar att modellen i stor utsträckning kan simulera den övergripande risken för läckage samt i vilken storleksordning man kan förvänta sig att påträffa substansen i miljön. Prediktioner av exakta koncentrationer visar sig dock vara mer osäkra, vilket



Figur 2. Andel av åkermarken i Skåne som odlas med höstraps.



Figur 3. Simulerade halter av metazaklor ( $\mu\text{g/l}$ ) till grundvatten (2 m ner i marken) vid höstbesprutning av höstraps

i sig är rimligt eftersom det finns avgörande osäkerheter när det gäller dataunderlaget, dels i användarstatistiken för en-

skilda substanser på regional nivå och dels för de uppmätta halterna.

## Referenser

- Boström, G., 2014: Riskkartering av bekämpningsmedel i skånska ytvatten. *Länstyrelsen Skåne 2014:5*.
- Boström, G., Moeys, J., Jarvis, N., Gönczi, M. & Kreuger, J., 2015: Riskkartering av bekämpningsmedel i Skånes grundvatten – simuleringar med MACRO-SE. *Sveriges lantbruksuniversitet, CKB-rapport 2015:1*.
- Larsbo, M., Roulier, S., Stenemo, F., Kasteel, R. & Jarvis, N., 2005: An improved dual-permeability model of water flow and solute transport in the vadose zone. *Vadose Zone Journal* 4,2, 398–406.
- Larsson, M., Boström, G., Gönczi, M. & Kreuger, J., 2014: Kemiska bekämpningsmedel i grundvatten 1986–2014. Sammanställning av resultat och trender i Sverige under tre decennier, samt internationella utblickar. *Sveriges lantbruksuniversitet, CKB-rapport 2014:1. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2014:15*.
- Åkesson, M., 2014: On the scope and assessment of pesticides in groundwater in Skåne, Sweden. *Lund University, Department of Geology, Quaternary Sciences LUNDQUA Thesis 74*.



# Fördröjd återhämtning av avrinning efter grundvattenpåverkan från uttag i kristallin berggrund

Fredrik Mossmark<sup>1,2</sup> & Lars O. Ericsson<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sweco Environment AB, Skånegatan 3, Box 5397, 402 28 Göteborg

<sup>2</sup>Chalmers tekniska högskola, Institutionen för bygg- och miljöteknik, 412 96 Göteborg

## Bakgrund

Grundvattenavsänkningar leder ofta till hydrologiska förändringar, framför allt i utströmningsområden. Vid undermarksbyggande fokuserar vanligtvis den hydrologiskt relaterade övervakningen på påverkan på grundvattennivåer. En fältstudie genomfördes därför vid Gårdsjön, 55 km norr om Göteborg, i syfte att också få bättre kunskap om generell påverkan på hydrologi, hydrogeologi, vattenkemi och biota (se t.ex. Knappe 2001, Graffner m.fl. 2005, Mossmark m.fl. 2007).

## Genomförande

Två avrinningsområden studerades under drygt 10 år. Det ena området användes som försöksområde (F3), medan det andra utgjorde referensområde (F1). De båda områdena är ca 30 000 m<sup>2</sup> och har kristallin berggrund (främst granit och granodiorit). Området karakteriseras av tunna moränlager med barrskog i inströmningsområdena och lokala små våtmarker i utströmningsområdena. En karta över Skandinavien och försöksområdet presenteras i figur 1.

I försöksområdet gjordes grundvattenuttag från ett bergborrhål (HGF33, se figur 1) i fem år. Under studieperioden mättes avrinningsvolym, uttagsvolym från berggrunden, grundvattennivåer i flera bergborrhål och i grundvattenrör i jord samt dessutom vattenkemiska parametrar. Instrumenteringen i försöksområdet visas i figur 1.

Resultat från undersökningarna har tidigare redovisats i ett ganska stort antal publikationer, t.ex. Mossmark m.fl. (2007, 2008) samt Mossmark (2010, 2014a). De data som

användes för utvärderingen i detta abstract finns redovisade i Mossmark (2014b).

## Resultat

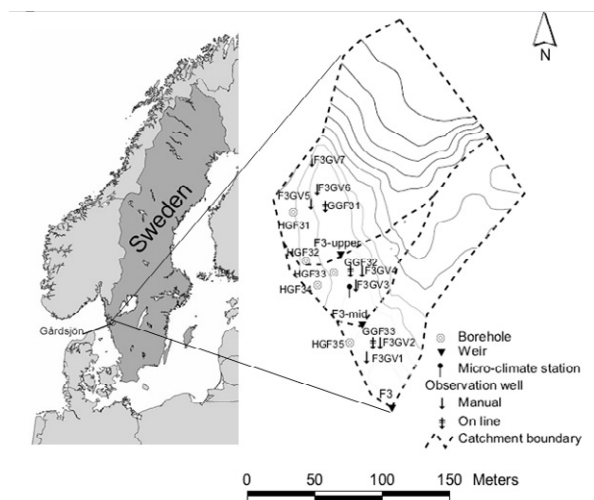
I försöksområdet påverkades grundvattennivåer i både berg och jord under perioden med uttag. Loggade nivåer i de fem bergborrhålen i försöksområdet visade en permanent avsänkning under de fem åren med uttag, se figur 2. Efter att pumpningen avslutades i april 2005 återhämtades grundvattennivåer snabbt, inom någon månad.

För att jämföra de två områdena gjordes visas en cross-plott där respektive områdes månadsavrinning framgår (i mm/månad, fig. 3). Under opåverkade förhållanden, före perioden med grundvattenuttag, hade försöksområdet (F3) liknande årsavrinning som referensområdet (F1). Detta framgår av att anpassningslinjen har lutning 1:1 i figur 3. När grundvattenuttag gjordes, minskade avrinningen i försöksområdet F3 till ungefär hälften (lutning 1:2), se figur 3. Efter att grundvattenuttaget avslutades återgick gradvis under fem år avrinningsvolymerna från försöksområdet F3 till att motsvara dem från referensområde F1, se figur 3.

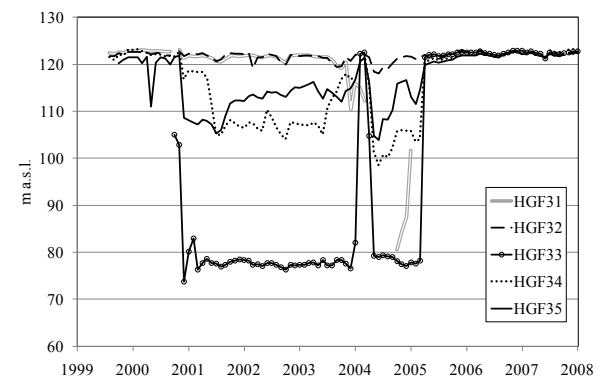
## Diskussion

I försöksområdet återhämtades berggrundvattennivåer inom någon vecka efter att uttaget avslutades. Däremot var återhämtningen av avrinningsvolym långsammare och pågick under ca 5 år.

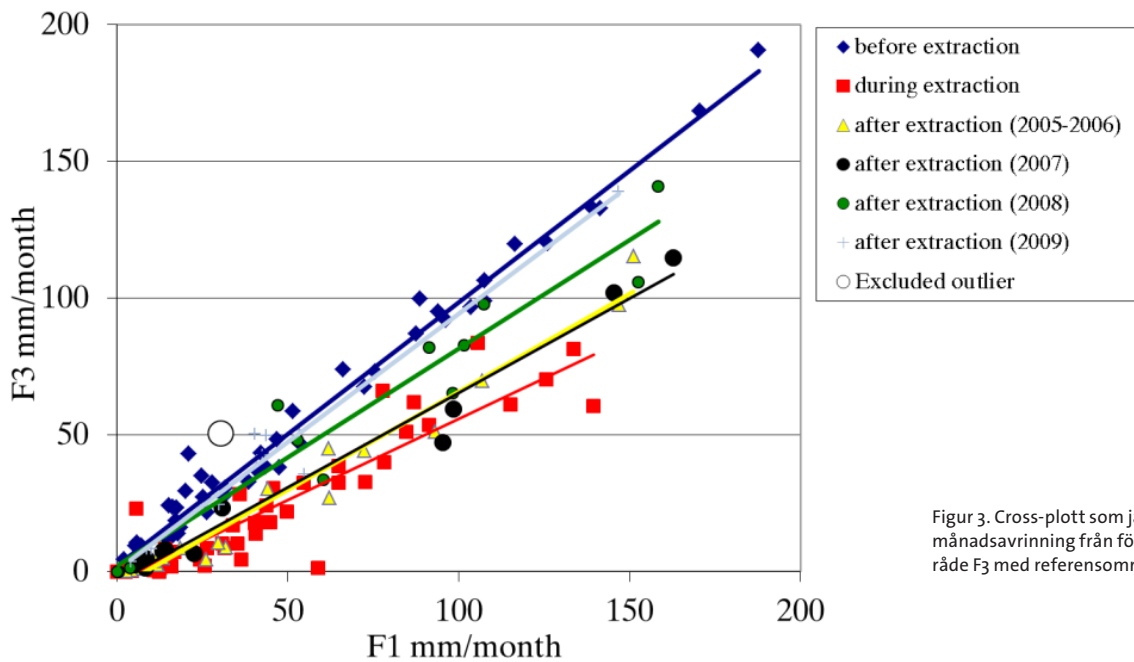
Vid undermarksbyggande genomförs i de flesta fall enbart mätning av grundvattennivåer för att bedöma om en återhämtning av grundvattenförhållanden skett och hydrologisk balans åstadkommit. I studien vid Gårdsjön gjordes, i likhet med vid undermarksbyggande, mätningar i öppna bergborrhål. En nivåmätning i ett öppet borrhål ger enbart



Figur 1. Karta över Skandinavien med Gårdsjön (t.v.), detaljkarta med instrumentering i försöksområde F3 (t.h.).



Figur 2. Berggrundvattennivåer i försöksområde F3.



Figur 3. Cross-plott som jämför månadsavrinning från försöksområde F3 med referensområde F1.

ett vägt medelvärde av trycknivån i de olika sprickor som står i kontakt med borrhålet. Det är därför svårt att bedöma om hydrologisk återhämtning har skett enbart baserat på sådana mätningar.

Denna undersökning visar att tillräckligheten i enbart nivåmätningar kan ifrågasättas vid undermarksbyggande i miljöer där viktiga hänsyn måste tas till eventuell omgivningspåverkan.

#### Referenser

Graffner, O., Mossmark, F. & Hultberg, H., 2005: *Geohydrological field investigation and experiment at Lake Gårdsjön, during the years 1997–2004. Measured parameters, instrumentation and data bases*. Inst. för Bygg- och Miljöteknik, Chalmers tekniska högskola.

Knape, S., 2001: *Natural Hydrochemical variations in small catchments with thin soil layers and crystalline bedrock*. Licentiatuppsats. Inst för geologi, Chalmers tekniska högskola.

Mossmark, F., Hultberg, H. & Ericsson, L. O., 2007: Effects on water chemistry of groundwater extraction from crystalline hard rock in an acid forested catchment at Gårdsjön, Sweden. *Applied Geochemistry* 22, 1157–1156.

Mossmark, F., Hultberg, H. & Ericsson, L. O., 2008: Recovery from an intensive groundwater extraction in a small catchment with crystalline bedrock and thin soil cover in Sweden. *The Science of the Total Environment* 404, 253–261.

Mossmark, F., 2010: *Groundwater chemistry affected by underground construction activities*. Licentiatuppsats. Chalmers tekniska högskola.

Mossmark, F., 2014a: Hydrogeological Conditions at the F3 Catchment Area, Lake Gårdsjön. *Chalmers tekniska högskola Publ. 2014:9*.

Mossmark, F. 2014b: *Prediction of groundwater chemistry in conjunction with underground constructions – field studies and hydrochemical modelling*. Doktorsavhandling, Chalmers tekniska högskola.

# Identifiering och prioritering av vattenresurser i vattenförsörjningsplaner med exempel från Norrbottens län

Anna Mäki & Hanna Östrén

Vatten & Miljöbyrån AB, Bergvikskurvan 11C, 973 31 Luleå

## Vattenförsörjningsplaner

Länsstyrelserna och kommunerna i Sverige arbetar kontinuerligt med vattenförsörjningsplanering, bland annat genom att ta fram vattenförsörjningsplaner för att belysa viktiga vattenresurser för vattenförsörjningen i respektive område.

Vatten & Miljöbyrån har tagit fram underlag till en regional vattenförsörjningsplan för Norrbottens län och arbetar för närvarande med underlag till en regional vattenförsörjningsplan för Västernorrlands län, på uppdrag av länsstyrelsen i respektive län. I dessa uppdrag har metodiken för att identifiera och prioritera vattenresurser diskuterats och utarbetats och hittills har den fungerat väl, varför det är sannolikt att fler i branschen kan ha nytta av den, både för regional och kommunal planering.

## Identifiering av vattenresurser

För att identifiera vattenresurser av intresse för nuvarande eller framtida vattenförsörjning på ett regionalt eller kommunalt plan kan ett urval från ett områdes samtliga yt- och grundvattenförekomster göras genom att sätta upp ett kriterium, förslagsvis en minsta uttagbar vattenmängd.

I arbetet med att ta fram underlag för den regionala vattenförsörjningsplanen för Norrbottens län var utgångspunkten vid identifieringen av vattenresurser att ett vattenuttag på minst 1 l/s ska kunna göras från dem under en längre tid eller att de redan idag används för vattenförsörjningsändamål. Dessutom skulle vattenresursen ligga i närheten av befolkning, eller en verksamhet, som kan nyttja vattnet.

För bedömning av möjliga vattenuttag ur grundvattenresurser användes SGUs data om uttagbara grundvattenmängder och för ytvattenresurser beräknades eller användes sjövolymerna respektive flödena i vattendrag.

## Prioritering av vattenresurser

För att kunna belysa de viktigaste vattenresurserna i ett område bör man prioritera dem. Metodiken som användes när vattenförsörjningsplanen för Norrbottens län togs fram beskrivs nedan.

Identifierade vattenresurser enligt ovan prioriterades i en fyrgradig skala med namn på klasser enligt Blad m.fl. (2009): ej prioriterad, prioriterad, hög prioritet och mycket hög prioritet. För varje vattenresurs angavs uttagmängdsklass, vattenkvalitetsklass, vattenuttagklass och sårbarhetsklass enligt uppsatta kriterier. Prioritetsklasserna vägdes sedan samman och viktades, enligt en framtagen formel, till ett prioritetstal för varje vattenresurs. Hänsyn togs även till om vattenresursen ligger inom ett område med vattenbrist. I tabell 1 visas ett exempel på klassificeringar och beräknat prioritetstal för en isälvsavlagring vid Torneträsk i Kiruna

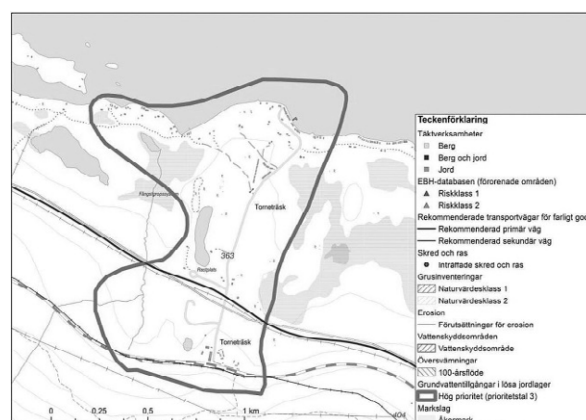
kommun och i figur 1 en karta över vattenresursen där även motstående intressen redovisas.

Grundvattenresurser hamnade i högre vattenkvalitetsklasser än ytvattenresurser, men både grund- och ytvattenresurser med dålig vattenkvalitet, t.ex. ej god kemisk status enligt VISS, hamnade i den lägsta klassen. Vattenresurserna delades in efter dagens vattenanvändning, där stora vattentäkter och stora tillståndsbemätlade vattenuttag gav en högre klass. Grova sårbarhetsbedömningar för grundvattenresurser gjordes utifrån jordarter eller typ av berg och för ytvattenresurser utifrån sjövolymerna och flödena.

## Referenser och litteratur

Länsstyrelsen i Norrbottens län, 2013: *Regional vattenförsörjningsplan för Norrbottens län*. Dnr: 539-8810-2011.

Blad, L., Maxe, L. & Källgården, J., 2009: Vattenförsörjningsplan – Identifiering av vattenresurser viktiga för dricksvattenförsörjningen. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2009:24*.



Figur 1. Karta över isälvsavlagring vid Torneträsk samt närbelägna motstående intressen och potentiella föroreningskällor.

Tabell 1. Prioriteringsklasser och beräknat prioritetstal för isälvsavlagring vid Torneträsk i Kiruna kommun. På grund av vattenbrist i fjällkedjan höjdes prioritetstalet med 1 till 3,45 av 4, vilket gör vattenresursen till en vattenresurs av hög regional prioritet.

Id_nr	Uttagmängdsklass	Vattenkvalitetsklass	Vattenuttagklass	Sårbarhetsklass	Prioritetstal
2719	2	4	2	1	3,45*

\*Omprioriterad (prioritetstal höjt med 1) p.g.a. bristområde i fjällkedjan.

# Tracing sources of ammonium in reducing groundwater in Vietnam by means of stable nitrogen isotope ( $\delta^{15}\text{N}$ ) values

Jenny Norrman<sup>1</sup> & Charlotte J. Sparrenbom<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Div. of GeoEngineering, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, 412 96 Göteborg  
<sup>2</sup>Department of Geology, Lund University, Sölvesgatan 12, 223 62 Lund

## Introduction

The Nam Du well-field is situated south of Hanoi city (Vietnam), and was constructed and brought into operation in 2004 as a part of the Hanoi water works. It has a groundwater extraction from the Pleistocene aquifer of ~60 000 m<sup>3</sup>/day. It is situated on the banks of the Red River to take advantage of induced infiltration. The heavy groundwater extraction has severely affected the area by lowering of the groundwater table, the groundwater is characterized by high concentrations of ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) and arsenic, and the sediments contain large amounts of organic matter, i.e. peat (Berg et al. 2008, Norrman et al. 2008).

The high  $\text{NH}_4^+$  concentrations in reducing groundwater has been an issue over the last 25 years in the southern part of Hanoi. A high concentration of ammonium in groundwater is typically associated with contamination by anthropogenic sources. However, the buried peat layers in the Red River delta formation are also hypothesized to contribute to the high  $\text{NH}_4^+$  levels (up to 100 mg/L). In order to trace the sources of  $\text{NH}_4^+$  at the Nam Du well field, isotope ratios ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) were analysed.

## Material, method & results

Field campaigns were carried out during dry season in 2006 and 2007: groundwater, surface water, as well as sediment was collected and analysed for several parameters (Norrman et al. 2008, 2015). The  $\delta^{15}\text{N}$  values were determined for total sedimentary N and exchangeable  $\text{NH}_4^+$  of the peat material, and for  $\text{NH}_4^+$  dissolved in deep and shallow groundwater, sewage, and surface water.

The groundwater  $\text{NH}_4^+$  of the upper (Holocene) and the lower (Pleistocene) aquifers had higher  $\delta^{15}\text{N}$  values than did total N and  $\text{NH}_4^+$  of the sediments, and were somewhat higher than the  $\delta^{15}\text{N}$  values of  $\text{NH}_4^+$  in sewage and surface water.

## Discussion and conclusion

We conclude that the present conditions of temperature and pH tend to promote deprotonation of  $\text{NH}_4^+$  to ammonia ( $\text{NH}_3$ ), which eventually degasses from the groundwater table to the unsaturated pore space. This can cause an enrichment of  $^{15}\text{N}$  in the remaining  $\text{NH}_4^+$ , as the lighter  $^{14}\text{N}$  in  $\text{NH}_3$  is volatilized at a slightly faster rate, which can explain the elevated  $\delta^{15}\text{N}$  values of  $\text{NH}_4^+$  in groundwater compared to the hypothesised sources.

The intermediate  $\delta^{15}\text{N}$  values within the Pleistocene aquifer can be explained by the recharge thereto, which is a

mixture of the high  $\delta^{15}\text{N}$  values of the Holocene aquifer and the low  $\delta^{15}\text{N}$  values of water infiltrating from the Red River into the Pleistocene aquifer.

Some part of the increased groundwater  $\text{NH}_4^+$  is, however, likely to arise from anthropogenic activities, as supported by several indications: the large drawdown in the Pleistocene aquifer caused by the extensive water abstraction and subsequent downward gradient from the upper Holocene aquifer; the presence of coliforms in groundwater; and a positive correlation between ammonium and DOC, Cl, Br and Ni, but a lack of correlation with As.

However, the much higher concentrations of  $\text{NH}_4^+$  in the groundwater compared to the potential surface sources, the positive correlation between  $\text{NH}_4^+$  and DOC, the rich abundance of natural organic matter (OM), the amount of exchangeable  $\text{NH}_4^+$  in the sediments, and the highly reducing conditions in the aquifers indicate that N-mineralization of organic N from the peat also contribute to the high  $\text{NH}_4^+$  levels in groundwater of the Nam Du well field.

## Acknowledgements

The funders are acknowledged: the Research Council of the Swedish International Development Agency (Sida/SAREC), the Swedish Research Council, and the Swedish Geotechnical Institute (SGI). Our co-authors are acknowledged, see Norrman et al. (2008, 2015).

## References

- Berg, M., Trang, P.T.K., Stengel, C., Buschmann, J., Viet, P.H., Dan, N.V., Giger, W. & Stuben, D., 2008: Hydrological and sedimentary controls leading to arsenic contamination of groundwater in the Hanoi area, Vietnam: The impact of iron-arsenic ratios, peat, river bank deposits, and excessive groundwater abstraction. *Chem. Geol.* 249, 91–112.
- Norrman, J., Sparrenbom, C.J., Berg, M., Nhan, D.D., Nhan, P.Q., Rosqvist, H., Jacks, G., Sigvardsson, E., Baric, D., Moreskog, J., Harms-Ringdahl, P. & Van Hoan, N., 2008: Arsenic mobilisation in a new well field for drinking water production along the Red River, Nam Du, Hanoi. *Appl. Geochem.* 23, 3127–3142.
- Norrman, J., Sparrenbom, C. J., Berg, M., Dang, D. N., Jacks, G., Harms-Ringdahl, P., Pham, Q. N. & Rosqvist, H., 2015: Tracing sources of ammonium in reducing groundwater in a well field in Hanoi (Vietnam) by means of stable nitrogen isotope ( $\delta^{15}\text{N}$ ) values. *Appl. Geochem.* 61, 248–258.

# Detailed geological modelling in urban areas focused on structures relevant to the near surface groundwater flow in the context of climatic changes and surface water recharge

Tom Martlev Pallesen<sup>1</sup>, Niels-Peter Jensen<sup>1</sup>, Torben Bach<sup>1</sup>, Le Thanh Vu<sup>1</sup> & Susie Mielby<sup>2</sup>

<sup>1</sup>GIS A/S, Voldbjerg vej 14A, 1.sal, 8240 Risskov, Denmark

<sup>2</sup>Geological Survey of Denmark and Greenland, Øster Voldgate 10, 1350 Copenhagen K, Denmark

## Background

This case demonstrates a practical example from the city of Odense (DK) where new geological modeling techniques has been developed and used in the software GeoScene3D, to create a detailed voxel model of the anthropogenic layer. The voxel model has been combined with a regional hydrostratigraphic layer model.

The case is part of a pilot project partly financed by VTU (Foundation for Development of Technology in the Danish Water Sector) and involves many different datatypes such as borehole information, geophysical data, human related elements (landfill, pipelines, basements, roadbeds, etc).

## The need for detailed geological modeling

In the last few years, there has been increased focus on detailed geological modeling in urban areas. The models serve as important input to hydrological models. This focus is partly due to climate changes as high intensity rainfalls are seen more often than in the past, and water recharge is a topic too. In urban areas, this arises new challenges. There is a need of a high level of detailed geological knowledge for the uppermost zone of the soil, which typically are problematic due to practical limitations, especially when using geological layer models. Furthermore, to accommodate the need of a high detail, all relevant available data has to be used in the modeling process. Human activity has deeply changed the soil layers, e.g. by constructions as roadbeds, buildings

with basements, pipelines, landfill etc. These elements can act as barriers or pathways regarding surface near groundwater flow and can attribute to local flooding or mobilization and transport of contaminants etc.

## Voxel model – the anthropogenic layer

A geological voxel model is built by small boxes (a voxel). Each box can contain several parameters, ex. lithology, transmissivity or contaminant concentration.

This case demonstrates the workflow and the resulting geological model for the pilot area. Human related elements can be implemented using tools, which gives the modeler advanced options for making detailed small-scale models.

## Acknowledgements

We wish to thank VTU and our partners in the project; VandCenterSyd, Odense Kommune, Alectia and GEUS.

## Literature

Mielby, S.B. et al., 2015: Udvikling af en 3D geologisk/ hydrogeologisk model som basis for det urbane vandkredsløb. Syntese rapport. *GEUS rapport*. In Press.

Pallesen, T.M. & Jensen, N.-P., 2015: Udvikling af en 3D geologisk/hydrogeologisk model som basis for det urbane vandkredsløb. Interaktiv modellering af antropogene lag. *GEUS rapport*. In Press.

Sandersen, P.B.E., Kristensen, M. & Mielby, S.B., 2015: Udvikling af en 3D geologisk/hydrogeologisk model som basis for det urbane vandkredsløb. 3D geologisk/hydrogeologisk modellering. *GEUS rapport*. In Press.

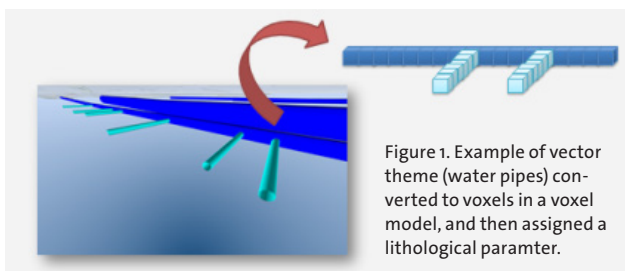


Figure 1. Example of vector theme (water pipes) converted to voxels in a voxel model, and then assigned a lithological parameter.

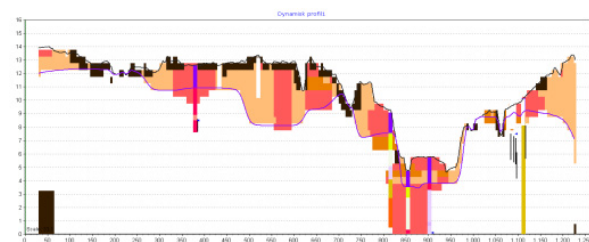


Figure 2. Part of the voxel model (simplified lithology) in the Odense Area. Colours reflects lithologi (red; sand, brown; clay).

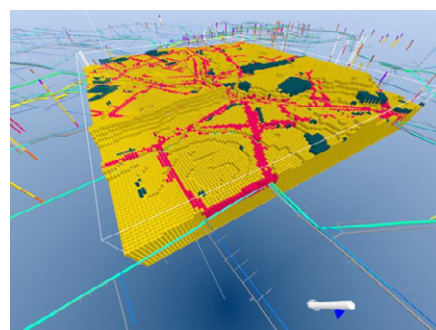


Figure 3. Cross section from the voxel model.

# Lokaliseringsprincipen ur ett verksamhetsutövarperspektiv – vilka utredningar krävs och hur hanteras juridiska utmaningar?

Pia Pehrson

Foyen Advokatfirma KB, Stora Nygatan 33, 411 08 Göteborg

## Lokaliseringsprincipen – några utmaningar i grundvattensammanhang

### *Natura 2000 och detaljplaner*

Frågan om Natura 2000 är efter Bungemålet en stor utmaning att hantera i exploateringsprojekt liksom i detaljplaner. Vad händer om en byggnation inte går att genomföra trots gällande detaljplan. Skadestånd?

### *Artskydd och miljökvalitetsnormer*

Artskydd och miljökvalitetsnormer för vatten kräver både utredningar och mycket kunskap hos verksamhetsutövaren.

Artskyddet anses enligt praxis vara en utveckling av de allmänna hänsynsreglerna, dvs. bland annat lokaliseringsprincipen i 2 kap. 6 § miljöbalken (1998: 808).

Vilka avvägningar görs avseende detta? Vad innebär miljökvalitetsnormer för vatten i form av hinder för exploatering och hur samspelar plan- och bygglagen (2010:900) och miljöbalken?

# Better status control, characterisation and understanding of our water resources

Charlotte J. Sparrenbom<sup>1</sup> Roland Barthel<sup>2</sup>, Jeffrey Lewis<sup>3</sup> & Peter Dahlgvist<sup>4</sup>

*1 Geologiska Institutionen, Lunds Universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund*

*2 Department of Earth Sciences, University of Gothenburg, Box 460, 405 30 Göteborg, Sweden*

*3 Tyréns AB, Västra Norrlandsgatan 10B, 903 27 Umeå, Sweden*

*4 Geological Survey of Sweden, Kiliansgatan 10, 223 50, Lund, Sweden*

## Neglect of the water resource situation

From the time when we were children, we have heard that we have great water in Sweden, and yes we do have at least great amounts. But, what is the quality of our water resources like? What do we know about it and how is the quality developing as we for a long time has spread man-made substances and enhance impacts of chemical cycles of naturally occurring chemicals?

We have seen the headlines in the newspapers on PFOS from fire fighter training areas, pesticides in our municipality supply wells, and acrylamide leaking from the Hallansås tunnel. But do we really know the extent of pollutants we are facing within our water resources right now and in the future? The monitoring of pollutants within our water resources is highly neglected or at least lagging behind, what is needed, and in comparison to other EU countries.

## Reasons?

What is the reason for this neglect? The reason is of course multifaceted and depends on several issues, e.g. lack of money, underdeveloped knowledge, our failure to communicate the knowledge gap, Sweden's large area and many small water resources, lack of initiative to deal with the issue, ambiguity in the responsibility between authorities, ignorance of the severity of the knowledge gap and deficiency in research within the area. A problem of particular concern may be the distribution of responsibilities in traditional sectorial "silos": groundwater and surface water, water quantity and quality, cities and rural areas etc.

## Actions?

The important question is really; what can we do about it and is the situation really that severe? What the situation is really like, we do not know until we actually start investigate and monitor our water resource enough to be able to answer. With the data collected so far, it is hard with any certainty to follow trends and status of the different water bodies. What we need to do is first of all to increase the awareness of the situation and start

discussing how the payment of monitoring can be resolved. We can also among water sector professionals, join forces to inform the politicians on the importance of understanding water systems as a whole and the importance on appointing one responsible authority to avoid any gaps in accountability between authorities. Since water is constantly in motion and cross natural and anthropogenic boundaries, all activities that occur do affect water quality, no matter if it is on the surface, within the ground or in a sewer. This holistic way of understanding waters systems is needed for a long term sustainable water resource management and is crucial for our future. WE need to educate the politicians and the public about the water cycle, groundwater recharge times, quick surface flow and flooding processes, pollutants transport within the different parts of a water system. Crucial knowledge is needed on how different pollutants move or degrade within different environments and how they affect our drinking water resources. Within the water sector, we also need more innovative ways of investigating and monitor our water system and a boost for more water related research is urgent as we lag behind within this area as well. We need to get the message across.

## Continuation?

In this contribution we will address the current status of monitoring, responsibilities and roles in the water sector and research funding in the field and compare it to international standards and the demands prescribed by the European Union and Sweden's own environmental objectives. Suggestions will be made on how to improve the situation, and most importantly, to boost the discussion among the water sector professionals to enhance and advance the initiative.

## Acknowledgements

Thank all of you who within the last years have contributed to this initiative by acting, discussing and commenting on the water sector status in Sweden and elsewhere. We hope this will inspire more initiative for action and lead to a better future care for our water resources.

# Delimitation and monitoring of pollutants with direct current induced polarization – a new opportunity

Charlotte Sparrenbom<sup>1</sup>, Sofia Åkesson<sup>1</sup>, David Hagerberg<sup>1,2</sup>, Sara Johansson<sup>2,3</sup>, Torleif Dahlin<sup>3</sup> & Henry Holmstrand<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Geologiska Institutionen, Lunds Universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sweden

<sup>2</sup> Tyréns AB, Isbergs gata 15, SE-205 19 Malmö, Sweden

<sup>3</sup> Engineering Geology, Lund University, Box 118, 221 00 Lund, Sweden

<sup>4</sup> Department of Environmental Science and Analytical Chemistry, Stockholm University, Svante Arrhenius väg 8, 114 18 Stockholm, Sweden

Presently in Sweden, large numbers of polluted areas leak into our groundwater. Most remediated action is performed by excavation and the masses are mainly deposited on landfills, or in best cases off site treatment efforts are carried out. In situ remediation and monitoring thereof, as well as monitoring of the groundwater quality changes, and movements, needs further development to improve information on the status of the underground system. This is needed to avoid costly and hazardous shipments associated with the excavations and as well as avoiding unnecessary exposure due to the handling of the masses. The monitoring of in situ remediation actions needs to become easier, cheaper, more comprehensive and nondestructive for the evaluation of remediation degree, degradation status of the contaminants and the remaining groundwater contaminant plume.

Within the TRansparent Underground Structures research project (TRUST), we investigate the Direct Current resistivity and time-domain Induced Polarization tomography (DCIP) method and its use within the context of DNAPL contaminated sites as well as ion changes due to oxidation caused by groundwater changes in connection to underground constructions. DCIP is an emerging and promising new technique for 2D, 3D and 4D mapping of underground hydrogeochemical structures and details, as well as spatial distribution of contaminants. Several drillings together with soil and groundwater sampling provide reference data within the project. DCIP is a non-invasive and non-destructive geoelectrical measurement method that

within the research project has shown high potential for providing indirect evidence of contaminant degradation status and groundwater quality changes. In our investigations, we show the results from DCIP measurements from two different areas (Kv Renen and Kv. Färgaren) with DNAPL contamination. From one of the areas (Kv. Renen, see Fig. 1), a pilot test on stimulation reductive dechlorination has been carried out and the treated area reveals sharp anomalies in the DCIP response. Time lapse measurements show changes within the stimulated area (see Fig. 2 and Sparrenbom et al. 2015a and b) and this could be used to follow remediation changes. Tests with DCIP time lapse are also carried out in a second area to test the applicability on areas where natural attenuation has been the means for remediation. To be able to quantify the degradation in this area, test on calibrating the DCIP time lapse with CSIA measurements (ACDC project) of air from the area is being tested. Ongoing DCIP measurements, groundwater sampling and further analyses are presently ongoing to evaluate the possible uses, benefits and limitations of the technique for monitoring changes and delimit polluted areas to be able to monitor and follow groundwater quality changes.

## Acknowledgements

Funding for the work was provided by Formas – The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning, (ref. 2012-1931 and 2014-3890-27706-48), BeFo – Swedish Rock Engineering Research Foundation, (ref. 331), SBUF – The Development Fund of the Swedish Construction Industry, (ref. 12719) and Sven Tyréns Stiftelse. The project is part of the Geoinfra-TRUST framework (<http://trust-geoinfra.se/>).

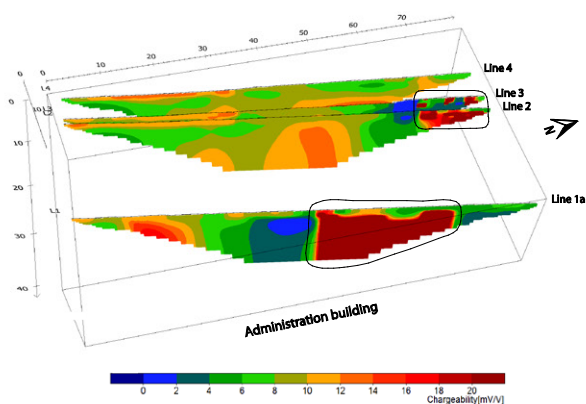


Figure 1. Selected IP sections from Kv. Renen. The larger high chargeability anomaly marked with a black rectangle shows the area of the injection and the smaller shows the higher chargeability of reinforced concrete in a sedimentation basin.

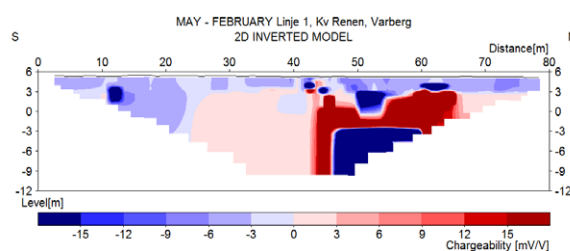


Figure 2. The figure shows the Induced Polarization (IP) time-lapse difference within a measured profile crossing the zone of the injected carbon source at Kv. Renen. The section shows data acquired in May 2014 subtracted from data acquired (inverted values) in February 2015.



The work has been carried out in cooperation with the site owner Kristianstad municipality and Varberg municipality. We thank them and the consultant companies Tyréns AB, Cowi AB and Structor AB who have been involved in the site investigations and provided us with background information for fruitful cooperation.

#### Literature

Sparrenbom, C., Åkesson, S., Hagerberg, D., Johansson, S. & Dahlin, T., 2015: Stimulated reductive dechlorination

identified with induced polarization – a new opportunity to monitor in situ remediation of chlorinated solvents? *AquaConsoil, Copenhagen 2015.*

Sparrenbom, C., Åkesson, S., Hagerberg, D., Johansson, S. & Dahlin, T., 2015: Stimulerad reduktiv deklorerad identifierad med inducerad polarisation – en ny möjlighet för övervakning av in-situ sanering av klorerade lösningsmedel? *Renare marks årsmöte, Arlanda, Stockholm, 2015.*

# Conceptual modelling tools for pollution and land management

Rodney L. Stevens<sup>1</sup> & Enuvie G. Akpokodje<sup>2</sup>

*1 Department of Earth Sciences, Univ. Gothenburg, Box 460, 405 30 Göteborg, Sweden  
 2 Institute of Natural Resources, Environment and Sustainable Development, Univ. Port Harcourt, East/West Road, PMB 5323 Choba, River State, Nigeria*

The increasing access to remote sensing, geophysical and archive datasets enables new approaches to spatial modelling. This paper deals with possible applications of conceptual modelling for pollution and land management, particularly relevant for surface and groundwater resources. These can be divided into the descriptive characterization and understanding of environmental settings and the predictive effects necessary for decision support. The division also corresponds to the complementary analytical and synthetic modelling methods.

Analytical modelling strives to identify the components and their interrelationships within the environmental system, while the synthetic modelling is focused upon the combination of criteria in order to make evaluations regarding appropriate scenarios. Modern delta environments, whether rural or urban, typically have a combination of natural and human-induced processes. Modelling needs to integrate different types of data (e.g. sediment and soil character, stratigraphic architecture and land-use). Challenges arise when

combining quantitative and qualitative information, so the use of multi-criteria techniques is considered necessary.

In the simplified example of hazard (pollution) risk management illustrated in Fig. 1, earlier assessment results are improved with new data, future climate and land-use scenarios from the database modelling are included. Societal factors are necessary to include (e.g. stakeholder interests and socio-economic drivers) since risks involve consequences and if implementation is to be feasible. Each of the first-order factors might be further broken down and analysed with respect to underlying influences in a similar way (the small lens figures under each factor).

Exemplification from the Niger Delta will take up several alternative applications. Identification of pollution sources, transport pathways and receptors is, in many cases, similar to sediment mass-flux budgeting. Relative risk ranking attempts to evaluate the combined impacts of multiple stressors on multiple resources within these complex settings.

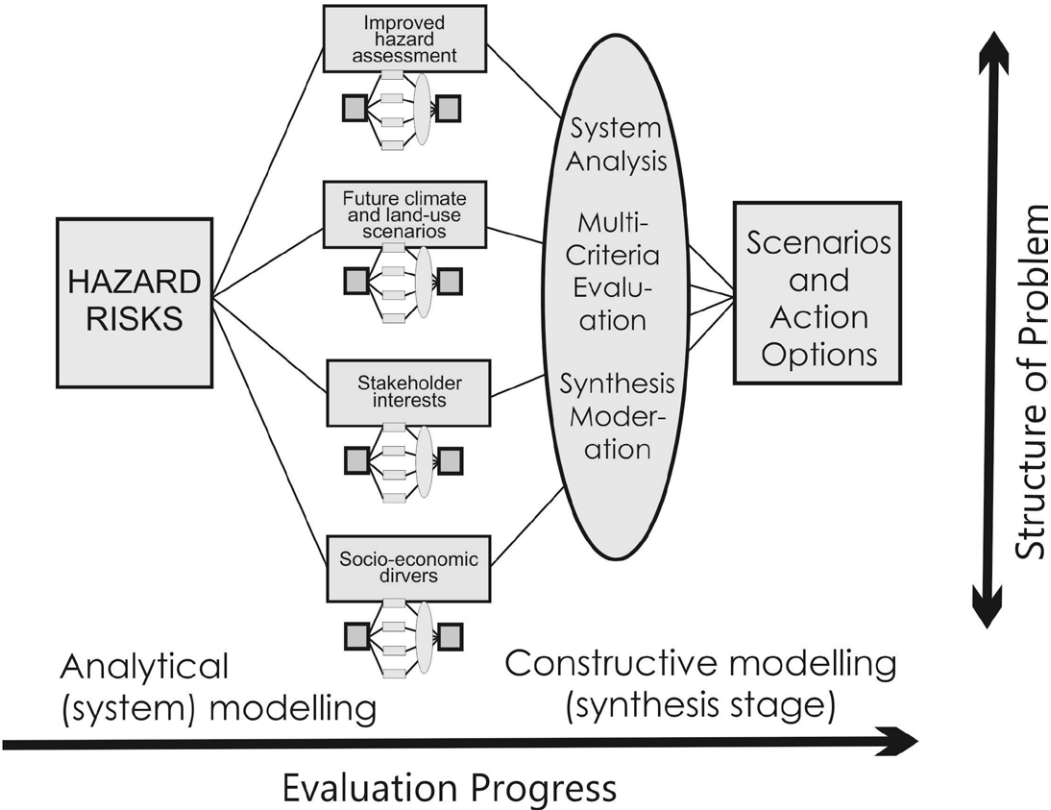


Figure 1. Implementation of hazard management based on the Brunswikian lens modelling concept. See text for discussion of components.

# Riskhantering vid grundvattensänkning i sättningskänsliga områden

Jonas Sundell & Lars Rosén

Chalmers tekniska högskola, Institutionen för Bygg- och miljöteknik, 412 96 Göteborg

## Ramverk för riskhantering

Undermarksbyggnad innebär ofta inläckage av grundvatten till undermarksanläggningen, vilket kan orsaka marksättningar i sättningskänsliga jordar med stora skadekostnader som följd. Vid planering för undermarksbyggen uppstår därför olika beslutsproblem kopplade till risken för marksättningar orsakade av grundvattensänkningar. För att hantera dessa beslutsproblem måste risker i hela skadekedjan, från grundvattensänkning till marksättning och skadekostnad, bedömas.

För att hantera dessa risker presenteras här ett ramverk bestående av fem moduler: (1) En probabilistisk metod för beskrivning av jordlagerföljder och osäkerheter i dess lägen; (2) En stokastisk hydrogeologisk modell där möjliga grundvattensänkningar från en planerad anläggning predikteras; (3) En stokastisk marksättningsmodell; (4) En modell för att beräkna risken för skada och skadekostnaden samt; (5) en modul för att utvärdera behovet av ytterligare information för att reducera risken för felaktiga beslut.

Detta ramverk har utvecklats enligt ISO-standard för riskbedömning (fig. 1).

### Modul 1 – probabilistisk jordlagermodell

Kännedom om var kompressibla jordar finns och dess mäktighet är nödvändigt för att bedöma risken för marksättningar. I denna modul modelleras sannolikheten för förekomsten av kompressibla jordar och jordarnas mäktighet på specifika platser.

### Modul 2 – probabilistisk hydrogeologisk modell

Genom jordlagermodellen skapas en detaljerad förståelse för områdets geologi. Denna förståelse, tillsammans med information om områdets vattenbalans, är nödvändig för att skapa en konceptuell förståelse för områdets hydrogeologiska system.

Beroende av de lokala förutsättningarna kan olika typer av modeller användas, från kvalitativa resonemang, beräkningar med analytiska metoder till mer komplexa numeriska modeller.

### Modul 3 – stokastisk marksättningsmodell

De första två modulerna beskriver den kompressibla jordens mäktighet och grundvattensänkningens storlek samt möj-

liga variationer i dessa. Tillsammans med sannolikhetsfördelningar för kompressionsparametrar kan möjliga utfall i marksättningsens storlek simuleras.

### Modul 4 – riskberäkning

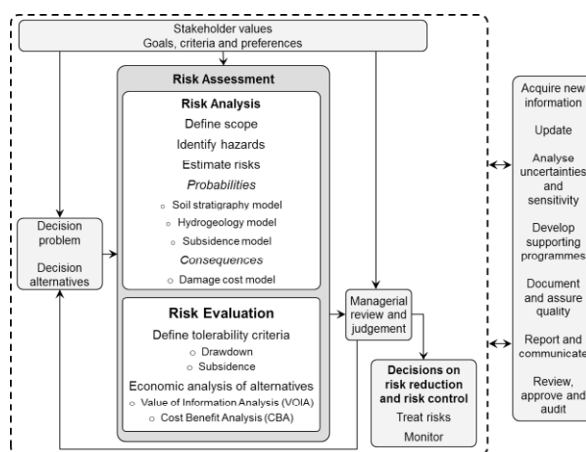
I denna modul kombineras den resulterade sannolikhetsfördelningen för marksättning med en funktion för att beskriva de ekonomiska konsekvenserna. Dessa konsekvenser kommer främst att värdesättas baserat genom att kostnaden för att reparera en skada.

### Modul 5 – riskbedömning

Behovet av ytterligare information eller riskreducerande åtgärder bedöms genom datavärdesanalys (Value of Information Analysis – VOIA). Genom VOIA vägs kostnaden för ny information eller att genomföra åtgärder mot nyttan av minskad risk. Resultatet av VOIA är ett urval av de mest lämpliga alternativen för ny information eller riskreducerande åtgärder.

### Tack

Detta arbete är finansierat av Formas, Stiftelsen för Bergteknisk Forskning (BeFo) och COWI-fonden.



Figur 1. Ramverk och dess ingående moduler.

# Grundvattnets ekosystemtjänster och deras ekonomiska värden

Tore Söderqvist<sup>1</sup>, Andreas Lindhe<sup>2</sup>, Lars Rosén<sup>2</sup> & Gerda Kinell<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Enveco Miljöekonomi AB, Måsholmstorget 3, 127 48 Skärholmen

<sup>2</sup> Chalmers tekniska högskola, Institutionen för Bygg- och miljöteknik, 412 96 Göteborg

<sup>3</sup> Nuvarande adress: WSP Sverige AB, Arenavägen 7, 121 88 Stockholm-Globen

En rad aktiviteter i samhället nyttjar vatten och vattentjänster. Begreppet *ekosystemtjänster* används brett i samhället och då även vad gäller tjänster inom vattensidan. Det finns idag ett ökande intresse och behov av att värdera ekosystemtjänster ekonomiskt. Flera initiativ har tagits inom myndigheter, forskning och andra organisationer.

Sveriges geologiska undersökning (SGU) har ett specifikt ansvar för arbetet inom miljömålet *Grundvatten av god kvalitet*. I SGUs målmanual för miljökvalitetsmålet anges att det ekonomiska värdet av ekosystemtjänster behöver synliggöras. Det huvudsakliga syftet med denna studie är att på ett övergripande sätt beskriva vilka ekosystemtjänster som grundvattnet tillhandahåller samt hur dessa kan värderas ekonomiskt. Arbetet har redovisats av Söderqvist m.fl. (2014).

## Vad är en grundvattentjänst?

I analogi med definitionen från *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (TEEB 2010) av ekosystemtjänster kan grundvattentjänster definieras som: ”*Grundvattnets direkta och indirekta bidrag till människans välbefinnande.*”

Är då grundvattentjänster lika med grundvattnets ekosystemtjänster? Inte nödvändigtvis, eftersom det enligt vissa definitioner på ekosystemtjänster krävs att det ingår åtminstone någon biologisk komponent i produktionen av ekosystemtjänster. I detta arbete har valts att använda en bred definition som inte kräver en fysisk, kemisk eller annan förändring av vattenkvaliteten.

## Indelning av grundvattentjänster

Utifrån en omfattande litteraturgenomgång förslås följande:

- Indelningen i stödjande, producerande, reglerande och kulturella tjänster som utgör grund för indelning av ekosystemtjänster enligt TEEB (2010) och Millennium Ecosystem Assessment (MA 2005) används även för grundvattentjänster, oavsett om en biologisk komponent ingår eller ej.
- En variant av typologin i NRC (1997) och Johansson m.fl. (2002) används för att beskriva belägenheten för grundvattnet:
  - In situ som grundvatten i sin underjordiska belägenhet.
  - Ex situ som direkt utvinning av grundvatten.
  - Ex situ som grundvattnets bidrag till ytvatten.

## Metoder för ekonomisk värdering

Utifrån indelningen av grundvattentjänster har lämpliga ekonomiska värderingsmetoder identifierats, vilka exemplifieras av Söderqvist m.fl. (2014):

- Marknadpris (för grundvattentjänsten)
- Skadekostnader
- Produktionsfunktionsmetoden
- Resekostnadsmetoden
- Fastighetsvärdeometoden
- Individbaserade och gruppbaseade scenariometoder
- Åtgärds kostnader

## Slutsatser

Den indelning av grundvattentjänster som presenteras här ger en överblick över vilka aspekter som bör beaktas då grundvattentjänster diskuteras. De till tjänsterna beskrivna värderingsmetoderna visar på vilka möjligheter det finns att ekonomiskt värdera ett förändrat tillhandahållande av grundvattentjänster. Detta kan vara till stor hjälp då exempelvis motstående intressen eller olika typer av skydd för grundvattnet diskuteras. Information om grundvattentjänster och dess värde kan även påverka planarbete och prioritering av åtgärder för att förbättra grundvattenförekomsternas status. Denna information kan också vara viktig då ekonomiska styrmedel diskuteras och eventuella beslut ska fattas.

## Tack

Arbetet finansierades av SGU samt av Svenskt Vatten Utveckling (SVU) inom ramprogrammet DRICKS.

## Referenser

- Johansson, P.-O., Djurberg, H., Gunnemyr, L., Söderqvist, T. & Collentine, D., 2002: Värdering av grundvattenresurser: Metoder och tillvägagångssätt. *Naturvårdsverket Rapport 5142*.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment), 2005: *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- NRC, 1997: *Valuing ground water: economic concepts and approaches*. U.S. National Research Council. National Academy Press, Washington, DC.
- Söderqvist, T., Lindhe, A., Rosén, L. & Kinell, G., 2014: Grundvattnets ekosystemtjänster och deras ekonomiska värden – en inledande kartläggning. *Sveriges geologiska undersökning, Rapport 2014:40*.
- TEEB, 2010: *The economics of ecosystems and biodiversity: Mainstreaming the economics of nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB*.

# Påverkan på grundvattennivåer till följd av jordskalv år 2008 – Stora Herrestad, Ystad kommun, Skåne län

Esbjörn Tagesson<sup>1</sup> & Patrik Lissel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> WSP Environmental, Box 714, 251 07 Helsingborg

<sup>2</sup> WSP Environmental, Birger Svenssons väg 28D, 432 40 Varberg

## Bakgrund

Vid Stora Herrestad, ca 5 km nordöst om Ystad, ska väg 19 byggas om i ny sträckning. En planskild korsning med ned-sänkt vägport planerades i projektets inledning. Vid platsen för korsningen utgörs lagerföljden av ca 1,5 m sand, följt av ca 2,5 m lera ovan sandig grus (isälvsavlagring), se figur 1. Isälvsavlagringen utgör ett undre, slutet grundvattenmagasin som vilar på sedimentärt berg i form av kalksten och sandsten.

Hydrogeologiska undersökningar påbörjades vintern 2008 och grundvattnets trycknivåer låg som medel ca 0,5 m under markytan. Årstidsvariationen uppmättes till ca 1,5 m. För att kunna bygga vägporten med anslutande väg krävdes en grundvattensänkning på ca 3,5 m i byggskede och ca 3 m i driftskede.

Den huvudsakliga påverkan på omgivningarna till följd av planerad grundvattensänkning bestod i att ett flertal enskilda grävda brunnar riskerade att få försämrad funktion eller sina.

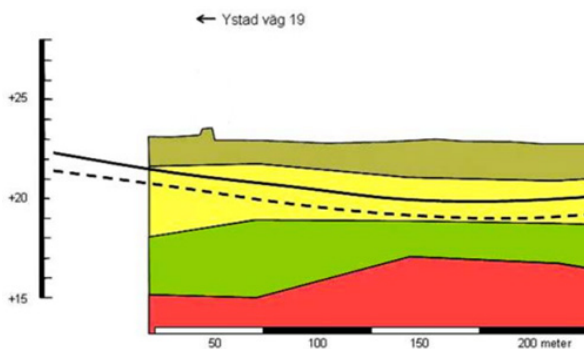
## Oväntad grundvattensänkning i december 2008

Under hösten 2008 utfördes en kortare provpumpning av det undre grundvattenmagasinet vilket visade sig vara mycket vattenförande. Grundvattennivåer i det undre magasinet mättes kontinuerligt och ytterligare undersökningar planerades inför vintern 2009. I figur 2 ses mätdata från år 2008 t.o.m. maj 2009.

I figur 2 ses att grundvattennivåerna sjunker abrupt mellan mätning i början av december 2008 och mätning i början av januari 2009. I jämförelse med normalt och förväntat variationsmönster var sänkningen i storleksordningen ca 3 m.

## Möjliga orsaker till grundvattensänkning och konsekvenser för projektet

Möjliga förklaringar till den oväntade grundvattensänkningen söktes. Trolig förklaring skulle t ex kunna vara omfattande

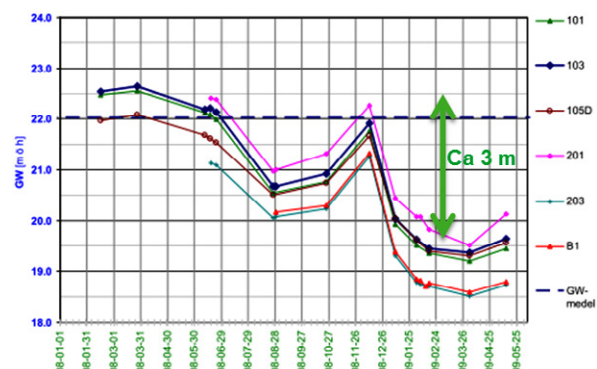


Figur 1. Profil med lagerföljd och planerad väglinje (heldragen svart) samt drännivå (streckad svart). Brun: sand, gul: lera, grön: isälvsavlagring, röd: sedimentärt berg.

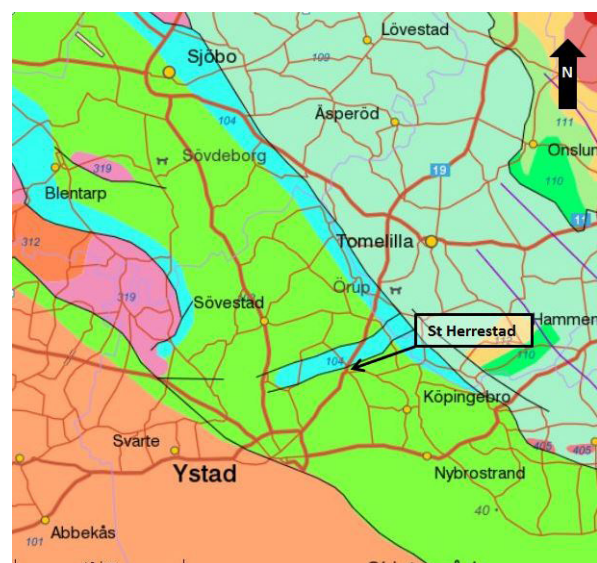
pumpning i grundvattenmagasinet, vilket dock inte kunde bekräftas.

Tidpunkten för grundvattensänkningen sammanföll väl med ett, för Sverige, större jordskalv som inträffade 2008-12-16. Skalvet mätte 4,7 på Richterskalan och hade sitt epicentrum vid Sjöbo, ca 20 km nordväst om Stora Herrestad. De förkastningszoner som finns vid Sjöbo kan följas till Stora Herrestad och går genom området där grundvattenmagasinet ligger, se figur 3.

Sannolikt har rörelser som skett i förkastningszoner i berggrunden ändrat sprickzonernas vattenförande förmåga.



Figur 2. Grundvattennivåer i mätpunkter i undre magasin år 2008 t.o.m. maj 2009.



Figur 3. Utdrag från SGU:s berggrundskarta med deformationszoner. ©SGU.

Då grundvattenmagasinet i jordlagren har god kontakt med berggrunden, kan den förändrade vattenföringen i sprickzonerna ha medfört att magasinet delvis dränerats. Ett fåtal andra observationer av förändrade grundvattenförhållanden vid motsvarande tid gjordes, bl.a. en brunn som erhöll artesiskt tryck i mellersta Skåne och några brunnar på Österlen som sinade.

För projektets del innebar grundvattensänkningen egentligen en förenkling eftersom betydligt mindre grundvattensänkning skulle krävas. Däremot var det osäkert om de låga grundvattennivåerna skulle vara bestående.

Beslut togs om att inte bygga en planskild korsning med nedsänkt vägport utan istället en korsning i plan. Beslutet grundades på att omgivningpåverkan, i förhållande till grundvattennivåer innan den hastiga sänkningen, bedömdes vara för stor i förhållande till nyttan med den planskilda korsningen.

Uppföljning av grundvattennivåer i det undre grundvattenmagasinet har gjorts. Nivåerna har långsamt återhämtat sig och var under vintern 2014 på liknande nivåer som innan jordskalvet.

# På gång i arbetet med grundvattenberoende ekosystem

Magdalena Thorsbrink<sup>1</sup>, Björn Holgersson<sup>2</sup> & Peter Dahlqvist<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala

<sup>2</sup> Sveriges geologiska undersökning, Guldhedsgatan 5A, 413 20 Göteborg

<sup>3</sup> Sveriges geologiska undersökning, Kiliansgatan 10, 223 50 Lund

## Inledning

Grundvattenberoende ekosystem är land- och vattenekosystem som är i direkt behov av ett utströmmande grundvatten. De spelar många gånger en betydelsefull roll i naturmiljön genom att de ofta innefattar en stor artrikedom. Kunskapen om dem utgör ett tvärvetenskapligt område där olika ämnesområden möts med vattnet som den sammanhängande länken. Det gör att fakta behövs på många områden för identifiera och förstå dessa ekosystem, varav ett är geologin. Behovet av kunskapsunderlag om grundvattenberoende ekosystemen har de senaste åren intensifierats till följd av arbeten inom såväl vattenförvaltning som i arbetet med miljömålet *Grundvatten av god kvalitet*. Flera projekt har därför skett med målet att ta fram faktaunderlag som kan vara till stöd i arbetet.

## Vad behöver vi göra och vad styr kraven?

Inom begreppet ”grundvattenpåverkan” vid en tillståndsprövning i enlighet med Miljöbalken, bör påverkan på omgivande ekosystem alltid utgöra en del i utredningsarbetet, inkluderat i den miljökonsekvensbeskrivning som tas fram. Det gäller såväl inom industrietableringar, infrastrukturprojekt, täktverksamheter som för andra verksamheter som kan komma att medföra effekter på grundvattnets kvalitet och/eller kvantitet. Utvärderingen bör redogöra för om påverkan kan komma att ske på en naturtyp som kan anses vara grundvattenberoende. SGU har identifierat de naturtyper som i Sverige bedöms ha högst prioritering beaktande dess förekomst och känslighet ur perspektivet grundvattenpåverkan. Utgångspunkten för prioriteringen har varit den naturtypsindelning som finns inom N2000-systemet. Det gör att man genom att hålla sig till den tolkningsnyckel och det vägledningsstöd som tagits fram i N2000-systemet också kan ta stöd av prioriteringsgrunden oavsett om ett område ligger i anslutning till ett N2000-område eller utanför.

Arbetet med grundvattenberoende ekosystem har också nära samröre med arbetet inom vattenförvaltningen. Om grundvattenförekomster är klassade till otillfredsställande status eller i risk att inte uppnå god status så kan grundvattenförekomsten utgöra en negativ påverkan på ekosystemen. Utifrån detta synsätt har SGU och Vattenmyndigheterna i första hand tittat på den hydrauliska kopplingen mellan beslutade grundvattenförekomster och befintliga N2000-områden så att de i framtiden kan utgöra en grund för de internationella rapporteringar som krävs i enlighet med Vattendirektivet (EG 2000 och EC 2015). Vägledande i arbetet är också miljömålet *Grundvatten av god kvalitet* som innehåller två preciseringar som direkt berör arbetet med grundvattenberoende ekosystem; 1) ”Utströmmande grund-

vatten har sådan kvalitet att det bidrar till en god livsmiljö för växter och djur i källor, sjöar, våtmarker, vattendrag och hav” samt 2) ”Grundvattennivåerna är sådana att negativa konsekvenser för bl.a. djur- och växtliv i angränsande ekosystem inte uppkommer”. För att ge vägledning och för att klara uppföljningen av målpuppfyllelsen framgår i den fördjupade utvärderingen 2015 att bl.a. kunskapsinhämtning och metodik för bedömning av grundvattenberoende ekosystem ska tas fram (Naturvårdsverket 2015).

## Uppdaterade kunskapsunderlag

Sedan tidigare finns ett underlag som fokuserar på de grundvattenberoende naturtypernas känslighet för kvantitativ påverkan (Werner & Collinder 2011), dvs. ett underlag som pekar ut de mest känsliga och bevarandevärda naturtyperna. Detta har nu kompletterats med ett underlag som redogör för de grundvattenberoende naturtypernas känslighet för kemisk påverkan (Werner & Collinder 2014). Utifrån dessa två underlag har en samlad bruttolista tagits fram som visar de naturtyper som av SGU bedöms ha störst prioritet i arbetet.

Inom det europeiska vattenförvaltningsarbetet pågår arbetet med att ta fram ett nytt vägledningsdokument för akvatiska system (WG Groundwater, Technical paper on aquatic ecosystems) som beräknas vara klart under 2015. Sedan tidigare finns motsvarande dokument för grundvattenberoende terrestra ekosystem (EC 2011). Hur arbetet ska genomföras nationellt inom vattenförvaltningen regleras via SGUs föreskrifter och vägledning för grundvatten (SGU 2014).

## Referenser

- EC, 2015: *WFD Reporting Guidance 2016, Final Draft 6.0* (04 August 2015).
- EC, 2011: *Technical Report on Groundwater Dependent Terrestrial Ecosystems, Technical Report no. 6*. ISBN 978-92-79-21692-3.
- EG, 2000: *Europaparlamentets och rådets direktiv 2006/60/EG av den 23 oktober 2000 om upprättande av en ram för gemenskapens åtgärder på vattenpolitikens område*.
- Naturvårdsverket, 2015: Fördjupad utvärdering av miljömålen 2015. *Naturvårdsverket, Rapport 6661*.
- SGU, 2014: Vägledning Vattenförvaltning av grundvatten. *Sveriges geologiska undersökning, SGU-rapport 2014:31*, 78 s.
- Werner, K. & Collinder P, 2011: *Grundvattenberoende ekosystem. Översiktlig klassificering av känslighet och värde för svenska naturtyper och arter inom nätverket Natura 2000*. Vattenmyndigheterna, 25 s.
- Werner, K. & Collinder P, 2014: *Grundvattenkemiberoende ekosystem. Översiktlig klassificering av känslighet för svenska naturtyper inom nätverket Natura 2000*. SGU, 32 s.

# Råvatten- och dricksvattenkvalitet – likheter och skillnader

Bo Thunholm<sup>1</sup>, Lars-Ove Lång<sup>2</sup>, Robin Djursäter<sup>1</sup>, Lena Maxe<sup>3</sup> & Liselotte Tunemar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala

<sup>2</sup> Sveriges geologiska undersökning, Guldhedsgatan 5A, 413 20 Göteborg

<sup>3</sup> Sveriges geologiska undersökning, Box 17155, 104 62 Stockholm

## Råvatten och dricksvatten

Råvattnet som inte direkt kan användas för dricksvatten behöver genomgå behandling i vattenverken. Det finns generellt betydligt mer analysresultat från dricksvattenprov än från råvattenprov. Syftet med denna studie är att utvärdera möjligheten att använda resultat från analyser av dricksvattenprov där råvattenanalysdata saknas. Resultaten omfattar vattentäkter som använder ytvatten, grundvatten eller konstgjort grundvatten som råvattenkälla.

## Vattentäcksarkivet

Vattentäcksarkivet vid SGU innehåller information om Sveriges vattenverk och vattentäkter samt vattenkvalitetsdata. I Vattentäcksarkivet fanns vid slutet av 2013 data från totalt ca 650 000 prover varav 220 000 råvattenprov och 430 000 dricksvattenprov. Dessa analyser användes för denna studie.

## Metod

En sammanställning har utförts där medelvärden för ett antal parametrar har beräknats per vattenverk för råvatten respektive för utgående dricksvatten under perioden 1998–2012. Antal prov per år och vattenverk är i de flesta fall större för dricksvatten än för råvatten. Provtagningsdatum för råvatten och behandlat vatten skiljer sig ofta åt vilket bör beaktas. Vidare kan behandlingsmetoderna variera både mellan vattenverk och med tiden.

## Likheter och skillnader

Resultaten visar att olikheter i genomsnittliga halter hos råvatten och dricksvatten varierar starkt mellan olika parametrar. För klorid är skillnaderna mellan råvatten och dricksvatten generellt mycket små. Järn uppvisar stora skillnader som ökar med stigande järnhalt. Olika typer av mönster i resultatet av korrelationsanalysen mellan råvatten och dricksvatten kan noteras för olika grupper av parametrar. För flera parametrar, som exempelvis klorid, kalium, fluorid, uran och sulfat bedöms resultat från dricksvattenprover kunna användas för översiktlig bedömning av råvattnet när prover från råvatten inte finns tillgängliga. För andra parametrar kan dricksvattenprover vara användbara inom vissa haltintervall, exempelvis kan nitrat användas vid låga och mätliga halter. För många parametrar där behandling i vattenverket sker är emellertid effekterna så stora att de inte kan användas på översiktlig nivå. Information om behandling vid vattenver-

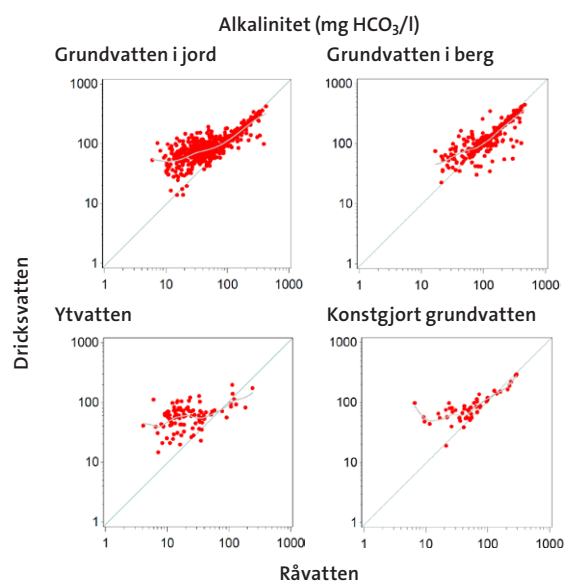
ket kan då ge vägledning för att bedöma om resultat från dricksvattenprover kan användas.

## Användningsområden

Ett flertal användningsområden finns för resultaten. Det finns brist på råvattenanalyser för att beskriva vattenföremkomster inom vattenförvaltningen liksom i arbetet med uppföljning av landets vattenrelaterade miljökvalitetsmål. Information om dricksvattnets kvalitet kan på vattenverks- och kommunnivå höja kunskapen om vad som kan förväntas vad gäller råvattnets sammansättning samt öka kunskapen om effekten av olika processer i vattenverket. Vid användning av dricksvattenresultat i brist på vattenanalyser bör man vara medveten om att vattenkvaliteten kan ha förändrats genom den behandling vattnet genomgår i vattenverket.

## Litteratur

Thunholm, B. & Whitlock, H., 2014: Egenskaper hos vattenanalysdata i Vattentäcksarkivet. *Sveriges geologiska undersökning, SGU-rapport 2014:17.*



Figur 1. Alkalinitet i råvatten och dricksvatten för grundvatten i jord, grundvatten i berg, grundvatten från konstgjord grundvattenbildning och ytvatten. Varje punkt motsvaras av ett vattenverk.



# Grundvatten, konstgjort grundvatten och ytvatten – hur skiljer sig vattenkvaliteten?

Bo Thunholm<sup>1</sup>, Lars-Ove Lång<sup>2</sup>, Robin Djursäter<sup>1</sup>, Lena Maxe<sup>3</sup> & Liselotte Tunemar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala

<sup>2</sup>Sveriges geologiska undersökning, Guldhedsgatan 5A, 413 20 Göteborg <sup>3</sup>Sveriges geologiska undersökning, Box 17155, 104 62 Stockholm

## Råvatten blir dricksvatten

Uttag av kommunalt grundvatten sker både från grundvatten och ytvatten. För att förstärka grundvattnet sker, speciellt i större orter samt där grundvattentillgången är begränsad, tillförsel av ytvatten till grundvattnet genom s.k. konstgjord grundvattenbildning. Ligger uttagsbrunnarna nära ytvattendrag kan inducerad infiltration förekomma. Grundvatten tas både ur jordlager (vanligen sand- och grusavlagringar) eller ur berggrunden. Förutsättningarna för vilken kemisk sammansättning som erhålls och risker för mänskliga föroreningar är platsspecifika, men också av olika karaktär beroende på de olika råvattenkategorierna 1) grundvatten i jord, 2) grundvatten i berg, 3) konstgjort grundvatten i jord, samt 4) ytvatten. Syftet med denna studie är att jämföra och förklara skillnader mellan analysresultat för dessa fyra kategorier.

## Vattentäcksarkivet

Vattentäcksarkivet vid SGU innehåller information om Sveriges vattenverk och vattentäkter samt vattenkvalitetsdata. I Vattentäcksarkivet fanns vid årsskiftet 2014/2015 analysresultat från ungefär 240 000 råvattenprover från 1 609 vattentäkter, uppgifter som legat till grund för denna studie. Antalet vattentäkter som användes i denna studie var fördelade på de fyra råvattenkategorierna enligt följande 1) 728 grundvatten i jord, 2) 631 grundvatten i berg, 3) 88 konstgjort grundvatten i jord, samt 4) 162 ytvatten. Analyserna kommer från provtagna åren 1998–2013, med ett högre antal under den senare delen av perioden.

## Redovisning

För varje parameter beräknades medelvärden per vattentäkt för perioden 1998–2013. Datamängden som användas för medelvärdesberäkningarna kan variera från något enstaka parametervärde till flera tiotal värden för en vattentäkt under perioden. Redovisningen av medelvärdena sker i form av boxplottar där för varje box redovisas undre kvartil, medianvärde och övre kvartil. Extremvärdena utgörs av 5- och 95-percentilerna.

## Resultat

För de flesta parametrar uppvisar grundvatten i jord och konstgjort grundvatten i jord liknande halter och fördelning.

Tydliga skillnader finns för konduktivitet, kalcium, magnesium (och därmed totalhårdheten) och alkalinitet mellan de fyra kategorierna. Högsta värdena finns i berggrundvatten och lägsta värdena i ytvatten. Variationsmönstret är likartat

för dessa parametrar och återspeglar vittring av mineral och uppehållstid för vattnet i mark och grundvatten.

Sulfat och klorid har generellt lägre halter i ytvatten än i grundvatten.

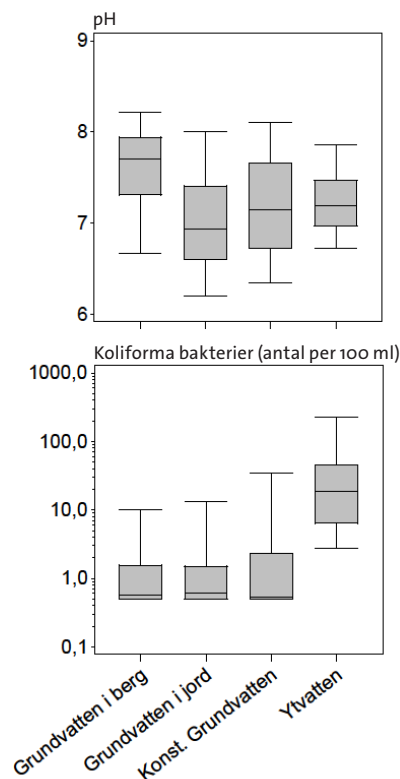
Mikroorganismer är mycket vanligare i ytvatten. Ytvatten har betydligt högre naturlig mikrobiell aktivitet samtidigt som det är mer sårbart för föroreningar än grundvatten.

Nitralthalterna är högst i grundvatten i jord, och likartade i de tre övriga kategorierna.

Som förväntat är radonhalterna mycket högre i berggrundvatten och lägst i ytvatten. Ett liknande mönster finns för fluorid.

## Litteratur

Thunholm, B. & Whitlock, H., 2014: Egenskaper hos vattenanalysdata i Vattentäcksarkivet. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2014:17*.



Figur 1. Boxplottar för pH och koliforma bakterier för råvatten där undre kvartil, medianvärde och övre kvartil redovisas. Extremvärdena utgörs av 5- och 95-percentilerna.

# Helikopterburen kartläggning, SkyTEM-undersökningar på Gotland – exempel från Fårö

Carl-Axel Triumf<sup>1</sup>, Peter Dahlqvist<sup>2</sup>, Lena Persson<sup>3</sup>, Mehrdad Bastani<sup>3</sup>, Mikael Erlström<sup>2</sup>, Flemming Jørgensen<sup>4</sup>, Henrik Thulin-Olander<sup>5</sup>, Mattias Gustafsson<sup>2</sup>, Magdalena Thorsbrink<sup>3</sup>, Kristian Schonning<sup>3</sup> & Phil Curtis<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sveriges geologiska undersökning, Varvsgatan 41, 972 32 Luleå

<sup>2</sup> Sveriges geologiska undersökning, Kiliansgatan 10, 223 50 Lund

<sup>3</sup> Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala

<sup>4</sup> GEUS, Lyseng Allé 1, Højbjerg, DK-8270, Denmark

<sup>5</sup> Ramböll, Skeppsgatan 5, 211 22 Malmö

## Inledning

SGU utförde under 2013 mätningar med ett helikopterburet geofysisk system (SkyTEM) inom fyra områden (540 km<sup>2</sup>) på Gotland varav Fårö är ett av dessa. Syftet var att kartlägga geologin i tre dimensioner med speciellt fokus på de hydrogeologiska förutsättningarna för större grundvattenuttag.

## Bakgrund

Anledningen till undersökningarna var de återkommande problem med tillgången på dricksvatten som finns på Gotland. Bristen är främst orsakad av att grundvattenmagasinen i jordlagren och berggrunden på Gotland är små eller dåligt kända.

På Fårö består dricksvattentäkterna mestadels av bergborrade brunnar. Orsaken är att jordlagren i allmänhet är tunna och därför inte medger brunnar utförda i jordlager. Undantaget utgörs av den östligaste delen av Fårö där ett stort sanddynområde ger möjlighet till vattenuttag också i sandlagren även om kvaliteten sänks av humus och järn.

Statistik visar att uttagsmöjligheterna i de bergborrade brunnarna på Fårö är relativt goda. Men det finns problem med vattenkvaliteten bl.a. med avseende på salt. Att känna till var salt grundvatten kan förekomma, och på vilket djup, är därför väsentligt för att kunna lokalisera lämpliga lägen för nya bergborrade brunnar.

## Metod

TEM-mätningarna utfördes av ett danskt företag (SkyTEM Aps) som har ca 15 års erfarenheter från omfattande grundvattenkartläggning i Danmark. Metodiken har utvecklats för att få fram 3D modeller av jordlagren och berggrunden för t.ex. bedömning av utbredning av grundvattenmagasin i Danmark.

Mätningarna på Gotland har utförts med ett system (SkyTEM) som registrerar den elektriska resistiviteten i marken. Mätningarna gjordes längs parallella mätlinjer med ett linjeavstånd på ca 200 m. Jordlagrens och berggrundens resistivi-

tet kunde bestämmas ner till 200–300 m djup. De variationer i resistivitet som man ser i mätdata beror framför allt på skillnader i porositet, andel lermineral, vattenmättnadsgrad och förekomst av salt grundvatten. När resultaten bearbetats och tolkats sammanfogas de till en tredimensionell resistivitetmodell för respektive område.

## Resultat

Resultaten från undersökningarna redovisas i Dahlqvist m.fl. (2015). Här redovisas några resultatexempel från Fårö:

- En sprickfattig tät kalksten utan väsentligt märengelslag har låg eller ingen potential för grundvattenuttag, typen yttrar sig som högresistiva volymer i resistivitetsmodellerna (exempelvis inom den sydvästra delen av Fårö).
- På Fårö finns ett antal grunda sjöar som är nybildade på grund av den relativa landhöjningen. Sjöarna kan vara lokaliserade till svaghetszoner i berggrunden. Därmed kan sjöarna utgöra ytliga representanter för grundvattenmagasin bundna till porös berggrund med förhöjd magasineringsförmåga.
- Den nordöstligaste delen av Fårö har mäktiga sandavlagringar. I anslutning till dessa påträffas en lågresistiv volym vars potential för grundvattenuttag är outredd.
- Utbredningen av märengelkalksten på södra delen av Fårö kan ses i resistivitetsmodellerna. Även om märengelkalkstenen i sig generellt inte har gynnsamma egenskaper för grundvattenuttag så påverkar den grundvattenförhållandena.

## Referenser

Dahlqvist, P., Triumf, C.-A., Persson, L., Bastani, M., Erlström, M., Jørgensen, F., Thulin-Olander, H., Gustafsson, M., Thorsbrink, M., Schonning, K. & Curtis, P., 2015: SkyTEM-undersökningar på Gotland. *Sveriges geologiska undersökning, Rapport och meddelanden 136*, 116 s.

# Så ska vi få bättre kunskap om grundvattnets kvalitet

Liselotte Tunemar<sup>1</sup>, Jennie Abellsson<sup>1</sup>, Johan Carlström<sup>1</sup>, Lars-Ove Lång<sup>2</sup>, Lena Maxe<sup>3</sup>, Jenny McCarthy<sup>1</sup>, Nils Ohlander<sup>1</sup>, Fredrik Theolin<sup>1</sup>, Bo Thunholm<sup>1</sup>, Åsa Tureklev<sup>1</sup> & Emil Vikberg<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala

<sup>2</sup>Sveriges geologiska undersökning, Guldhedsgatan 5A, 413 20 Göteborg

<sup>3</sup>Sveriges geologiska undersökning, Box 17155, 104 62 Stockholm

## Vad vet vi (inte) om grundvattnets kvalitet i Sverige

Vi vet att grundvattnet har påverkats av försurning och ökad rörlighet av metaller. I jordbruksområden förorenas grundvattnet genom kväveläckage med höga nitrathalter i dricksvattentäkter. Bekämpningsmedel från jordbruk och urban miljö når brunnar via grundvattnet. Påverkan från avlopp ger mikrobiell förorening och ökade halter av kväve och klorid. Vägsaltning påverkar grundvattenkvaliteten längs vägnätet och risken för olyckor med utsläpp av drivmedel eller kemiska produkter utgör ett allvarligt hot mot vattenkvaliteten (Sveriges geologiska undersökning 2013).

Vi vet mycket om grundvattnet men för att bibehålla och förbättra grundvattnets kvalitet med rätt åtgärder behövs ett bättre kunskapsunderlag och strategiskt arbete. Det behövs mer analyser av olika ämnen i grundvattnet utifrån ett riskbaserat synsätt (t.ex. screeningar) och det behövs moderna system för att samla in och utvärdera data.

## Så arbetar vi för att få ett bättre kunskapsunderlag

SGUs strategi för att förbättra kunskapsunderlaget om grundvattnets kvalitet beskrivs i tre delar. (1) SGU samlar in och förvaltar grundvattendata från verksamhetsutövare som utför egenkontroll, regional grundvattendata från länsstyrelser och nationell grundvattendata från miljöövervakning och kartering. (2) SGU fungerar som datavärd och stödfunktion för ovanstående datamängder. (3) SGU utvärderar och stödjer användningen av informationen som samlats in för att öka medvetenheten och kunskapen om grundvattnets kvalitet (fig. 1).

Miljöövervakningen är en viktig del i kunskapsuppbygget och under 2015 inleder SGU en satsning på utveckling av denna. Årets extrainsatser på miljöövervakningen görs med medel från Havs- och vattenmyndigheten och SGUs anslag.

## Inventering av nya platser för övervakning av grundvattnets kvalitet

För att få bättre ytäckande kunskap om grundvattnets kvalitet påbörjas en inventering av nya provtagningsplatser. Behovet av nya provtagningsplatser är stort för att kunna anpassa miljöövervakningen till att uppfylla de krav som ställs för genomförandet av Vattendirektivet och för miljömålsarbetet.

## Utökad provtagning och analys av grundvattnets kvalitet

Ämnen uppträder naturligt i grundvatten. Det krävs kunskap om dessa för att särskilja dem från ämnen som kommer från mänsklig påverkan. Under året utökas provtagningen

av grundvatten inom det ordinarie övervakningsprogrammet genom att ta extraprover för analys av grundämnen samt bekämpningsmedel eller riskämnen som motiverat att grundvattenförekomster inom vattenförvaltningen har klassats som riskförekomster.

## Samverkan nationell–regional miljöövervakning

Att anpassa och utöka miljöövervakningen kommer inte att vara tillräckligt för att uppfylla kraven som ställs för genomförandet av vattendirektivet och för miljömålsarbetet. Det behövs en samsyn på hur övervakningen och annan uppföljning ska bedrivas oberoende om arbetet bedrivs inom regional, nationell eller annan övervakning (Naturvårdsverket 2015, Havs- och vattenmyndigheten 2014). Därför pågår arbete på SGU för en bättre samordnad övervakning nationellt och regionalt.

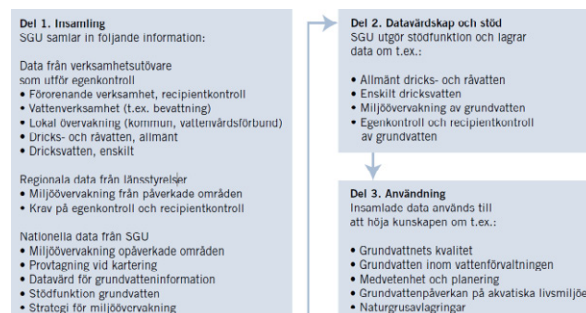
## Referenser och litteratur

Naturvårdsverket, 2015: Mål i sikte – analys och bedömning av de 16 miljö kvalitetsmålen i fördjupad utvärdering – Grundvatten av god kvalitet. *Naturvårdsverket, Rapport 6662*.

Havs- och vattenmyndigheten, 2014: Nationell akvatisk miljöövervakning 2015–2020. *Havs- och vattenmyndighetens rapport 2014:18*.

Sundén, G., Maxe, L. & Lång, L.-O., 2014: Regional övervakning av grundvattenkemi – Utvärdering av delprogram. *Sveriges geologiska undersökning, SGU-rapport 2014:23*.

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



Figur 1. Insamling och hantering av information om grundvattnets kvalitet.

# Grundvattennivåer och klimatförändringar – vad säger de nya klimatscenerierna?

Emil Vikberg<sup>1</sup>, Bo Thunholm<sup>1</sup>, Magdalena Thorsbrink<sup>1</sup> & Joel Dahne<sup>2</sup>

1. Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala

2. SMHI, 601 76 Norrköping

## Uppdaterad analys

Då grundvatten har en stor betydelse för dricksvattenförsörjningen i Sverige är det av stor betydelse att se hur grundvattennivåerna kan komma att förändras i ett framtida klimat. Som ett led i arbetet med den nu pågående dricksvattenutredningen har därför en ny uppdaterad analys låtit utföras.

Genom att använda SMHIs modell S-HYPE för att modellera grundvattennivåer på avrinningsområdesskala (Lindström G. et. al 2010), har förväntade grundvattennivåer tagits fram för ett antal platser i Sverige för perioderna 2021–2050 och 2069–2098. Beräkningarna baseras på utsläppsscenerierna RCP 4.5 och RCP 8.5, där RCP 8.5 innebär ett nolläge utan aktiv klimatpolitik och RCP 4.5 innebär en aktiv klimatpolitik som aktivt begränsar utsläppen av växthusgaser. Utifrån de beräknade framtida nivåerna har sedan en relativ jämförelse utförts med referensnivåer för perioden 1961–1990 för att beskriva den förväntade framtida förändringen i grundvattennivå. Bedömningarna har utförts dels för grundvattennivåer i morän (snabbreagerande) och dels för grundvattennivåer i isälvsmaterial (långsamreagerande grundvattenmagasin).

## Resultat

Resultaten visar att årsmedelnivån för långsamreagerande grundvattenmagasin förväntas höjas i större delen av Sverige utom i landets sydöstra delar.

Grundvattnets förväntade lägsta- och högstanivåer förväntas stiga i norra Sverige, medan de istället beräknas sjunka i södra delen av landet.

Grundvattennivåernas fluktuation (skillnad mellan lägsta och högsta nivå) beräknas minska i norra delen av landet, medan den i södra och sydvästra delarna av Sverige beräknas öka. För de mindre magasinerna beräknas dock de södra och sydvästra delarna få i stort sett oförändrade nivåvariationer.

Därutöver visar beräkningarna att grundvattnets regim-mönster komma att ändras. Dels kan perioden med de högsta grundvattennivåerna under året komma att skifta från vår till höst för delar av norra Sverige. Vidare kan perioden med sjunkande grundvattennivåer under sommaren komma att förlängas genom att de lägsta grundvattennivåerna kommer senare på hösten vilket kan få en effekt på den enskilda vattenförsörjningen genom minskad eller sinad tillgång på sensommar och höst.

## Referenser

Lindström, G., Pers, C.P., Rosberg, R., Strömquist, J. & Arheimer, B., 2010: Development and test of the HYPE (Hydrological predictions for the environment) model – A water quality model for different spatial scales. *Hydrology Research* 41, 3–4, 295–319.

# Grundvatten i kristallint berg – utvärdering av SGUs information

Carl-Henric Wahlgren, Claes Mellqvist, Kajsa Bovin, Cecilia Jelinek, Lena Persson, Bo Thunholm & Hanna Wåhlén  
*Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala*

## Bakgrund och syfte

SGUs hydrogeologiska verksamhet har huvudsakligen varit inriktad på grundvattenförhållandena i kvartära, okonsoliderade, avlagringar. För att svara upp mot behovet av information inom olika användningsområden i samhället bör den hydrogeologiska verksamheten i ökad omfattning även beakta grundvattentillgångar och grundvattenflöde i den kristallina berggrunden där sprickor och sprickzoner helt styr grundvattenflödet.

En pilotstudie har genomförts där utvalda geologiska och geofysiska data i SGUs databaser har integrerats med brunnskapaciteten i bergboreade brunnar inom kartområdena Åmål NO–SO, dominerat av mer eller mindre kraftigt omvandlad gnejsig berggrund, och Lessebo SV–SO, dominerat av välbevarade graniter. En utvärdering har därefter skett för att se om det finns någon geologisk förklaring till variationen i brunnskapacitet, t.ex. om brunnskapaciteten skiljer sig mellan berggrundsterrängar av olika metamorf och strukturell karaktär, om närheten till geofysiskt identifierade lineament, större deformationszoner, etc. är styrande.

Vid valet av områden för studien var kraven att det skulle finnas tillgång till geologiska kartor (2D-modeller), flyggeofysisk information med elektromagnetiska mätningar (VLF) där två skilda sändare använts (Dual-VLF-metoden), att området skulle vara täckt av Lantmäteriets nationella höjdmödel med 2 m upplösning, samt att det fanns ett ”tillräckligt” antal bergboreade brunnar för statistisk bearbetning.

## Metodik

Berggrundsunderlaget inom respektive område förenklades genom att bergenheter med likartad geologisk karaktär slogs ihop till bergdomäner, vilka likställdes med hydrauliska bergdomäner beroende på bristfällig hydrogeologisk karaktärisering.

Bearbetade flyggeofysiska data och topografiska data utgjorde underlag för identifiering av magnetiska, elektromagnetiska (VLF) och topografiska lineament. Enbart lineament  $\geq 1$  km har beaktats i studien. Orienteringen av de metodspecifika lineamenten har plottats i rosdigram. Bristen på detaljerad sprickinformation från bergblottningar inom områdena innebär dock att det inte går att avgöra om den identifierade orienteringsfördelningen av lineamenten även återspeglar den mer lokala uppsprickningen i berggrunden.

Brunnar inom områdena valdes ut efter i första hand följande kriterier: brunnskapacitet är angiven, lägesnoggrann-

heten för brunnens placering är mindre än 250 m från den angivna koordinaten, totaldjupet är max 140 m och bergdjupet är större än 20 m.

Alla ingångsdata bearbetades i GIS och sammanställdes som underlag för statistisk bearbetning med variansanalys (ANOVA).

För att få en översiktlig bild över hur vattentillgången i berg varierar i olika delar av landet har en interpolering gjorts över hela Sverige utifrån data i SGUs Brunnarkiv (t.o.m. 2014-09-16). Sammanlagt ingick 149 536 brunnar i interpoleringen. Följande parametrar har interpolerats: brunnskapacitet, brunnens djup, specifik kapacitet och hydraulisk konduktivitet.

## Resultat

Inom både Åmål NO–SO och Lessebo SV–SO visar den utförda variansanalysen på svaga statistiska samband mellan brunnskapaciteten i berggrunden och de faktorer som bedömts vara av vikt, t.ex. bergdomän, närhet till lineament, lineamentens orientering och lågresistiva områden. Sålunda är förklaringsgraden för de olika brunnskapaciteterna låg utifrån de parametrar som ingick i den statistiska analysen. Brunnskapaciteten i de välbevarade, massformiga bergdomänerna inom Lessebo SV–SO är dock nästan dubbelt så hög som i bergdomänerna i den mer eller mindre kraftigt omvandlade berggrunden inom Åmål NO–SO. Detta stöder erfarenheten att omvandlad gnejsig berggrund generellt har lägre vattenförande förmåga än mer välbevarad berggrund. I båda områdena finns ett svagt men icke signifikant samband mellan brunnskapacitet och markens resistivitet.

Den låga förklaringsgraden för brunnskapaciteterna utifrån de geologiska och geofysiska parametrar som ingick i den statistiska analysen indikerar att grundvattenförhållandet i varje enskild berggrundsvolym är beroende av lokala geologiska förhållanden. Vid brist på detaljerad geologisk information kan generella antaganden om den hydrogeologiska situationen i berggrunden, baserade på konceptuellt styrande faktorer såsom bergartstyp, bergspänningsförhållanden, strukturell anisotropi etc., sålunda leda till felaktig uppfattning.

Då grundvattenflödet i kristallin berggrund helt styrs av sprickor och sprickzoner, är tillgång till mer detaljerad sprödetektonisk information från berggrundsblottningar och lineamentsidentifiering utan längdbegränsning av största vikt.

# Verktyg för mikrobiell riskanalys (MRA) av dricksvattenbrunnar i närheten av avloppsanläggningar

Johan Åström<sup>1</sup>, Andreas Lindhe<sup>2</sup>, Lars Rosén<sup>2</sup> & Lars-Ove Lång<sup>2,3</sup>

*1 Tyréns AB, Lilla Torget 3, 441 30 Alingsås*

*2 Chalmers tekniska högskola, Institutionen för Bygg- och miljöteknik, 412 96 Göteborg*

*3 Sveriges geologiska undersökning, Guldhedsgatan 5A, 413 20 Göteborg*

## Bakgrund

Avloppspåverkan utgör en vanlig orsak till vattenburen smitta vid dricksvattenförsörjning från grundvatten. För kommunala grundvattentäkter är medvetenheten och skyddsmöjligheterna generellt större än för privata dricksvattenbrunnar, men även vid kommunala anläggningar inträffar vattenburna infektioner. Tillämpning av schablonmässiga säkerhetsavstånd kan ge ett betydande skydd. Det har dock saknats ett verktyg för att analysera de mikrobiologiska riskerna och kvantifiera risken i termer av infektioner orsakat av dricksvatten över tid. Risken styrs i hög grad av lokala hydrogeologiska förhållanden, men även av faktorer som patogenförekomst vid utsläppspunkt och uttagsflöde från dricksvattenbrunn. De mikrobiologiska barriärer som måste beaktas kopplar till avskiljningen i och vid avloppsutsläppet och processer både i omättad zon och i grundvattnet.

För ytvattenbaserade dricksvattenverk utvecklade branschorganisationen Svenskt Vatten för några år sedan ett modellverktyg för mikrobiell riskanalys (MRA). Detta kan användas för att beräkna infektionsrisken med hänsyn till råvattenkvalitet och avskiljning i det specifika vattenverket under normal drift och vid nedsatt driftfunktion. Detta verktyg, som tillhandahålls som en beräkningsfil i programvaran Analytica (Lumina Decision Systems), möjliggör stokastisk simulering med hänsyn till variation och osäkerhet i ingående beräkningsparametrar. För grundvattenverk utgör omättad och mättad zon viktiga mikrobiologiska barriärer, men även beredningssteg såsom UV-ljus och membran finns installerade på vissa grundvattenverk. Det finns samordningsvinster i att utgå från modellverktyget för ytvattenverk vid utveckling av ett motsvarande för grundvattenverk, eftersom vissa processer och beredningssteg är desamma.

## Syfte

Syftet med detta arbete har varit att utveckla ett MRA-verktyg för att teoretiskt beräkna infektionsrisker för kommunala grundvattenverk och för privata dricksvattenbrunnar samt att praktiskt implementera detta verktyg. Följande delmoment har ingått:

- (i) Identifiera mikrobiologiskt riskutsatta grundvattentäkter, beskriva föroreningskällor och mikrobiella barriärer längs spridningsvägen.
- (ii) Baserat på litteraturstudier välja metod för att beräkna reduktion av bakterier, virus och parasiter i omättad och mättad zon.

- (iii) Sätta upp beräkningsmoduler i ett modellverktyg för riskanalys av kommunala grundvattenverk.
- (iv) Implementera MRA-verktyget i tre fallstudier vid kommunala grundvattentäkter.
- (v) Anpassa verktyget för riskanalys av privata dricksvattenbrunnar exponerade för små avlopp.

## Resultat

Medan grundvattentäkter med naturlig infiltration kan vara exponerade för patogener från små avlopp, läckande avloppsledningar och gödselspridning, innebär bassänginfiltration att ytvatten i stora volymer infiltreras med en potentiellt hög mikrobiell påverkan till följd av en liten omättad zon och snabb transport till uttagsbrunnen. Virus från människor, exempelvis norovirus som orsakar vinterkräksjukan, är den kategori av patogener som lättast tränger igenom jordlager, men transporten och därmed patogenhalten i brunnsvattnet avgörs av både naturliga och driftrelaterade faktorer.

I litteraturen finns åtskilliga exempel på hur patogenreduktion studerats i kolonn- och fältförsök. Tyngdpunkten har legat på reduktion av virus och bakterier, främst i mättad zon, och endast ett fåtal studier har berört reduktion av parasiter. Modeller för att plats specifikt beräkna reduktionen av patogener är i huvudsak begränsade till virus och mättad zon, och en modell utvecklad i Nederländerna identifierades som praktiskt användbar för svenska grundvattentäkter.

Ett MRA-verktyg för grundvattenverk har utvecklats i programvaran Analytica där litteratordata använts i beräkningsmoduler för bakterier, virus och parasiter i omättad och mättad zon, därtill en analytisk modell för virustransport i mättad zon. Verktyget har utgått från befintligt modellverktyg för ytvattenverk, med dess möjligheter att definiera spridningskällan, lägga till ytterligare beredningssteg samt beräkna resultaten som teoretisk infektionsrisk eller som sjukdomsborða. Verktyget har tillämpats genom fallstudier i grundvattentäkterna Forslunda i Umeå kommun och Magra i Alingsås kommun.

Inom ett projekt finansierat av Havs- och vattenmyndigheten anpassades MRA-verktyget för analys av privata dricksvattenbrunnar. Verktyget är i detta fall tillgängligt via en Internetlänk och är avsett att användas i den kommunala tillsynen för att analysera risken med befintliga eller planerade små avlopp. Under hösten 2015 kommer utbildningsseminarier anordnas där detta verktyg tillämpas och utvärderas.

**Tack**

Projektet initierades med medel från Sven Tyréns Stiftelse och Svenskt Vatten Utveckling. Övriga finansiärer har varit Havs- och vattenmyndigheten samt Sveriges geologiska undersökning.









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](http://www.sgu.se)

Uppsala 2015  
ISSN 0349-2176  
ISBN 978-91-7403-318-2  
Tryck: Elanders Sverige AB