



Sveriges geologiska undersökning

FoU-seminarium vid SGU
14–15 mars 2006

Dokumentation

FoU-seminarium vid SGU 14–15 mars 2006 – dokumentation

SGU-rapport
2006:3

SGU-rapport
2006:3

FoU-seminarium vid SGU 14–15 mars 2006

Dokumentation

**Sveriges geologiska undersökning
Forskning och Utveckling**

SGU-rapport 2006:3

Förord

SGU har till uppgift att stödja tillämpad forskning och riktad grundforskning inom det geovetenskapliga området och stor vikt läggs på tvärvetenskaplig forskning, som erbjuder nya infallsvinklar, och som koncentrerar sig på för samhället viktiga geologiska problem. SGU tilldelades ett sådant ansvar i regeringens forskningspolitiska proposition (1989:90:90). Enligt direktiven skall denna forskning behovsidentifieras inom SGU. Stödet uppgår idag till 5,2 miljoner kronor.

För 2005 inlämnades 53 nya ansökningar på totalt 23 MSEK, vilket visar på den stora betydelse stödet har inom forskarvärlden. Av dessa beviljades 14 projekt vid universitet och högskolor forskningsmedel från SGU.

Fyra forskningsprojekt inom ramen för detta stöd har slutförts under året och dokumenterats i särskilda rapporter. Tre projekt har fått uppskov med slutredovisning. Antalet projekt som slutredovisas varje år varierar genom att SGU beviljar projekt för ett, två och tre år vilket medför att slutrapporterna kan bli relativt få ett år, medan de efterföljande år blir betydligt fler. Ett större antal lägesrapporter för pågående projekt inlämnas dessutom. Medlen fördelas efter vetenskaplig bedömning av en av SGU utsedd samrådsgrupp samt efter intern relevansbedömning. Projekten bör koncentrera sig på för samhället viktiga geologiska problemställningar. Stor vikt läggs på tvärvetenskaplig forskning som erbjuder nya infallsvinklar och möjligheter för tillämpning av ny forskningsmetodik. Stödet lägger också vikt vid att finansiera yngre forskare och kvinnliga forskare. Målsättningen är att långsiktigt och systematiskt bygga upp kompetens och kunskap av vikt för användningen av geologisk information i samhället.

Sedan 1990 görs oberoende internationella utvärderingar av SGUs Stöd till Geovetenskaplig forskning för att utvärdera projektens kvalitet samt om inriktningen är den rätta för samhällets behov och krav. Utvärderingarna har visat att de fastlagda övergripande målen för forskningspolitiken inom geovetenskap har uppnåtts och att det finns flera för samhället viktiga geovetenskapliga forskningsområden som utan detta stöd ej kunnat få finansiering från annat håll. Den senaste utvärderingen omfattande perioden 2000–2003 och avrapporterades till regeringen i november 2003.

Den av SGU egenfinansierade forsknings- och utvecklingsverksamheten har bedrivits sedan budgetåret 1989/90 inom ett särskilt program. För 2005 ansöktes om medel för 49 projekt till en sammanlagd kostnad av 7,9 miljoner kronor. Medel beviljades för 29 projekt om sammanlagt 5,0 miljoner kronor. Verksamheten bedrivs i projektform, efter ansökan från enskilda medarbetare och bedömning av en forskningsgrupp bestående av fackenheternas chefer. Denna verksamhet har ett stort inslag av utveckling av metoder och system för insamling, bearbetning och presentation av geovetenskaplig information. Vidare fokuseras på miljö- och industriellt relaterade geologiska problemställningar, samt på frågor som rutinmässigt uppkommer i samband med SGUs ordinarie karteringsverksamhet. I några fall genomförs även en långsiktig satsning på frontforskning, där unik kompetens finns inom SGU.

Samverkan med svenska universitet och högskolor är av stor vikt. SGU har löpande formella och informella kontakter med universitet och högskolor. Forskningsverksamheten kräver en samverkan mellan SGU och universitet och högskolor för att tillförsäkra att en hög kvalitet bibehålls och att kunskapsutbyte sker. Dessa kontakter sker på flera olika plan. Inom ramen för SGUs FoU-verksamhet har därför under året ett arbete med att belysa en mer strukturerad samverkan med svenska universitet och högskolor genomförts. Förslag har redovisats hur denna samverkan kan utökas och fördjupas.

Lars Persson

Olle Selinus

Dag Fredriksson

Program för FoU-seminarium vid SGU

Presentation av FoU vid universitet och högskolor som erhållit medel ur SGUs stöd till geovetenskaplig forskning och egenfinansierade FoU-projekt vid SGU.
Plats: SGUs hörsal, Villavägen 18, Uppsala

Tisdag 14 mars 2006

Ordförande: Lars Persson

- 09.00–09.15 ÖPPNING
Lars Persson, Direktör Forskning och Utveckling SGU
- 09.15–09.40 Inbjuden inledningstalare
SKBs platsundersökningar i Forsmark och Oskarshamn – ett drivhus för geovetenskaplig och ekologisk forskning
Kaj Ahlbom, SKB
- 09.40–10.05 Relationen mellan smältning och deformation i gränsområdet mellan Ljusdalsbatoliten och Bottniska Bassängen
Karin Högdahl, Uppsala universitet
- 10.05–10.30 Undre och mellantriassiska avlagringar i Sydvästskåne och angränsade områden
Mikael Erlström och Ulf Sivhed, SGU
- 10.30–10.45 KAFFE
- 10.45–11.10 Utveckling av petrografisk analysmetodik vid bergkvalitetsbedömningar
Sven Lundqvist, SGU
- 11.10–11.40 Undersökning av bergkvalitet med kvantitativ mikroskopi och datorsimulering
Per-Arne Lindqvist, Luleå tekniska universitet
- 11.40–11.50 DISKUSSION
- 11.50–12.45 LUNCH

Ordförande: Olle Selinus

- 12.45–13.25 Södra Sveriges berggrundsbildning 1,85–1,52 Ga; vad blev fel i tidigare modeller – och varför?
Karl-Inge Åhäll, Karlstads universitet
- 13.25–13.50 Tektonisk relation mellan Transskandinaviska bältet och gnejsterrängen väster därom
Sven Åke Larsson, Göteborgs universitet
- 13.50–14.05 KAFFE
- 14.05–14.30 Kombination av Euler dekonvolution och analytisk signal för automatisk tolkning av magnetiska data
Mehrdad Bastani, SGU
- 14.30–14.45 DISKUSSION

Program för FoU-seminarium vid SGU

Presentation av FoU vid universitet och högskolor som erhållit medel ur SGUs stöd till geovetenskaplig forskning och egenfinansierade FoU- projekt vid SGU.
Plats: SGUs hörsal, Villavägen 18, Uppsala

Onsdag 15 mars 2006

Ordförande: Dag Fredriksson

- 09.00–09.25 Inbjuden inledningstalare
Geovetenskap i massmedias fokus
Reynir Bödvarsson, Uppsala universitet
- 09.25–09.50 Radon i grundvatten – orsakssamband och utveckling av prediktionsmetodik
Bo Olofsson, KTH
- 09.50–10.15 Produktutveckling av paleografiska kartor
Leif Andersson, SGU
- 10.15–10.30 KAFFE
- 10.30–10.55 Visualization, GIS and (geo)statistics for geochemical data interpretation and anomaly separation
Katrin Grunfeld, KTH
- 10.55–11.20 Litostratigrafisk indelning av Östersjöns senkvartära marina avlagringar utanför Skånes sydkust
Per Sandgren, Lunds universitet
- 11.20–11.45 Rekonstruktion och analys av klimatets utveckling i området runt Nordatlanten
Johan Nyberg, SGU
- 11.45–12.00 DISKUSSION
- 12.00–13.00 LUNCH

Ordförande: Olle Selinus

- 13.00–13.25 Naturlig arsenik – risker i vår omvärld?
Olle Selinus, SGU
- 13.25–13.50 Karteringsmetodik och metallbelastning – sura sulfatjordar
Kaj Lax, SGU
- 13.50–14.15 Geofysiska metoder för att identifiera områden med sulfidhaltiga sediment
Gustav Sohlenius, SGU
- 14.15–14.30 KAFFE
- 14.30–14.55 Karakterisering av grundvattenförekomster
Lars-Ove Lång och Magnus Åsman, SGU
- 14.55–15.20 Metodik för anpassning av vattendelare med hänsyn taget till grundvattnets strömning
Magnus Åsman och Lena Ojala, SGU
- 15.20–15.30 DISKUSSION

SKBs platsundersökningar i Forsmark och Oskarshamn – ett drivhus för geovetenskaplig och ekologisk forskning

KAJ AHLBOM, Platschef för SKBs platsundersökning i Forsmark

Svensk kärnbränslehantering AB (SKB) bedriver sedan 2002 undersökningar på två platser, Forsmark och Oskarshamn, för att utreda deras förutsättningar för ett slutförvar av använt kärnbränsle. Den planeringsförutsättning vi arbetar efter är att förvaret utformas enligt det så kallade KBS-3-konceptet, vilket innebär att avfallet innesluts i kopparkapslar, omges av bentonitlera och placeras i borrarade hål i botten av deponeringstunnlar, som i sin tur utformas någonstans mellan 400–700 m djup.

Bedömningen om förvaringen kan ske säkert på en specifik plats görs i en säkerhetsanalys. Denna analys behöver ett omfattande dataunderlag som beskriver förhållanden och egenskaper i berget på den aktuella platsen, men också i jorden, ytvattnet och i ekosystemen. Vidare behövs kunskap om vilka processer som verkar i olika hydrauliska, kemiska och ekologiska system, samt inte minst, vilka förändringar, exempelvis klimatologiska, som kan ske under den tid som säkerhetsanalysen behandlar och hur dessa förändringar påverkar de säkerhetsmässiga förutsättningarna.

Det är ett omfattande dataunderlag som behövs. För att ge en uppfattning om omfattningen kan nämnas att undersökningarna tar sex år att genomföra, kärnbörningen per plats omfattar cirka 15–20 km, fält- och analysarbetet tar cirka 150 manår i anspråk. Den totala kostnaden för perioden 2002–2008 beräknas till cirka 2 miljarder kr. Troligen innebär platsundersökningarna den största geovetenskapliga forskningsinsatsen någonsin i vårt land.

Vid utvärderingen är ett tvärvetenskapligt analysarbete nödvändigt eftersom modellerna måste vara konsistenta mellan olika ämnesområden. Exempelvis måste hydrologernas modell över ytvattenförhållanden, infiltration och grundvattenflöde, stämma överens med geokemisternas modell över olika vattentypers utbredning mot djupet, men också med ekologernas modeller över flödet i markytan av olika ämnen. Detta angreppssätt leder till att perspektivet för de inblandade breddas, vilket ger nya insikter och vetenskaplig stimulans.

Totalt har cirka 800 rapporter hittills tagits fram från platsundersökningarna och analysarbetet och det lär bli många fler innan undersökningarna är klara. Alla rapporter finns att tillgå på SKBs hemsida på Internet, www.skb.se.

Mycket av vad som har kommit fram i platsundersökningarna är av generellt intresse för forskarsamhället. SKB uppmanar därför alla som har deltagit i platsundersökningarna, och i de analyser som har gjorts av data därifrån, att publicera sina resultat i vetenskapliga publikationer. Flera artiklar har redan accepterats eller publicerats och fler är på gång.

Platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn beräknas vara klara under 2007. Därefter dröjer det till slutet av 2008 innan säkerhetsanalysen och övrigt underlag är klart. Baserat på dessa resultat, samt miljökonsekvensbeskrivningen, kommer SKB att välja en av dessa platser för slutförvaret. En förutsättning är givetvis att analysen visar att säkerheten uppfylls på den valda platsen.

Tectonic units and correlation problematics in the central Svecofennian domain – where, when and how does the Ljusdal batholith fit in?

KARIN HÖGDAHL, HÅKAN SJÖSTRÖM & ULF B. ANDERSSON, Uppsala universitet

The Ljusdal batholith (LjB) is located in the central Svecofennian domain in Sweden. It consists mainly of c. 1.85 Ga K-feldspar megacryst-bearing granitoids, and small amounts of fine-grained granites and mafic intrusive rocks. The megacryst-bearing granitoids are often transformed into augen-gneisses that occasionally host opx. This mineral has also been verified in metabasites (Lundqvist et al. 1990) as well as in metasedimentary rocks occurring within the LjB, indicating that parts of the LjB has been metamorphosed in granulite facies, which is further implied by the presence of crd+grt in leucosome.

Metasedimentary rocks are most common in the eastern part of the LjB where they appear as openly F_3 -folded slivers of stromatic migmatites. Internally they show evidence of two, relatively older, fold phases (F_1 and F_2), but only F_2 and F_3 have been recorded within the granitoids. Such an augen-gneiss has been dated by U-Pb zircon TIMS at 1858 ± 7 Ma, extending the previously known range of emplacement ages for the LjB. The maximum age of F_2 is however younger; zircon rims from a crd+grt+sil bearing leucosome in a stromatic migmatite affected by F_2 and F_3 yielded an U-Pb SIMS age of 1820 ± 7 Ma.

In the Hornslandet area the F_2 folds are west vergent and asymmetric, and possibly associated with thrusts. Refolded F_1 folds are more or less isoclinal.

The northern and western boundaries of the LjB roughly coincide with the Hassela Shear Zone (HSZ) and the Storsjön–Edsbyn Deformation Zone (SEDZ), respectively (Bergman & Sjöström 1994, Sjöström & Bergman 1998, Högdahl & Sjöström 2001). The HSZ can be traced from the Caledonides in the Storsjön area towards the coast in the east. It is steep with shallow-plunging stretching lineation and dextral horizontal kinematics. Some conjugate sinistral shear zones have also been observed. The fabric ages along HSZ range between 1816 and 1794 Ma, but field data indicate also a preceding history.

The Transition Belt in Jämtland, to the northwest of the LjB, contains rocks that are coeval with and texturally similar to the granitoids within the batholith. However, these rocks are more or less undeformed outside the shear zones, which are related to either the HSZ or the SEDZ. In addition, they are not significantly metamorphosed. It has been proposed that the Transition Belt represent a well-preserved continuation of the LjB (Högdahl 2000), but our results show that they have different isotopic as well as geochemical signatures. The Transition Belt granitoids are mainly peraluminous and cover a large compositional spectrum, from calc-alkaline to alkaline with ϵ_{Nd} -values between -1.7 and -0.8 . The LjB granitoids, on the other hand, tend to be metaluminous, are more alkaline than the rocks of the Transition Belt, and have a more juvenile isotopic signature with ϵ_{Nd} values between -0.3 and $+1.2$.

Different types of migmatites are common both to the north and south of the HSZ, including meta-texite, diatexite, schlieren-granite as well as more homogeneous granites and granodiorites. Zircon rims from a granitic dyke and an associated schlieren-rich granite as well as a grt-bearing leucogranite all yields U-Pb SIMS ages of 1.86 Ga, i.e. overlapping with the rather juvenile LjB. At least the granitic dyke and the associated schlieren-rich granite are allochthonous, located in a thrust sequence. The tectonic position of the leucogranite is uncertain. Zircon rims from a diatexite located well to the north of HSZ also gave an age of 1.86 Ga.

The southern boundary of the LjB is more enigmatic and has been described as complex (Delin 1993). In the southeastern part of the batholith several steep, NW–SE trending dextral shear zones occur and a deformation zone have been inferred between Gävle and Rättvik (Tirén & Beckholmen 1990, Stephens et al. 1994). In the area between Svärdsjö and Sandviken this zone forms an anastomosing pattern enveloping tectonic lenses. The individual shear zones are steep and show both dextral and sinistral horizontal components, and they have steep- to moderately plunging stretching lineations in variable directions. East of the Sandviken–Gävle graben the tectonic style of the high strain zones are quite different. These zones are also steep, but they have roughly E–W trending, shallow- to moderately E-plunging stretching lineations, indicating a different tectonic domain. If these structures are coeval, strain partitioning and channel flow of the migmatites are indicated.

The Gävle–Rättvik zone, the Hagsta Gneiss Zone, the Ljusne Zone as well as the Tönnånger Zone are all possible candidates as the southern boundary of the LjB and, consequently, the boundary between the central Svecofennian domain and the Bergslagen Region.

The Svecokarelian orogen has the cross-sectional geometry of an accretionary orogen with a general crustal growth towards south or southwest (Korja & Heikkinen 2005). The LjB represents an anomaly in this scenario by being considerably younger than the arc-related rocks to the north and south, and being enveloped by deformation zones. The kinematics of the shear zones would allow the LjB to be laterally displaced from its original position by “hit-and-run” deformation similar to the much younger terranes of the Baja BC in the Laramide orogen, western USA (Maxson & Tikoff 1996).

References

- Bergman, S. & Sjöström, H., 1994: The Storsjön–Edsbyn Deformation Zone, central Sweden. *Research Report, Geological Survey of Sweden*, 46 s.
- Delin, H., 1993: The radiometric age of the Ljusdal granodiorite of central Sweden. *In: T. Lundqvist (ed.) Radiometric dating results. Sveriges geologiska undersökning C 823*, 13–16.
- Högdahl, K., 2000a: 1.86–1.85 Ga intrusive ages of K-feldspar megacryst-bearing granites in the type area of the Revsund granite in Jämtland County, central Sweden. *GFF 122*, 359–366.
- Högdahl, K. & Sjöström, H., 2001: Evidence for 1.82 Ga transpressive shearing in a 1.85 Ga granitoid in central Sweden: implications for the regional evolution. *Precambrian Research 105*, 37–56.
- Korja, A. & Heikkinen, P., 2005: The accretionary Svecofennian orogen – insight from the BABEL profiles. *Precambrian Research 136*, 241–268.
- Lundqvist, T., Gee, D.G., Kumpulainen, R., Karis, L. & Kresten, P., 1990: Beskrivning till berggrunden över Västernorrlands län. *Sveriges geologiska undersökning Ba 31*, 429 s.
- Maxson & Tikoff, 1996: Hit-and-run collision model for the Laramide orogeny, western United States. *Geology 24*, 968–972.
- Sjöström, H. & Bergman, S., 1998: Svecofennian metamorphic and tectonic evolution of east central Sweden. Unpubl. *Sveriges geologiska undersökning* report, 50 s. + figurer.
- Stephens, M.B., Wahlgren, C.-H. & Weihed, P., 1994: Geological map of Sweden. Scale 1:3 million. *Sveriges geologiska undersökning Ba 52*.
- Tirén, S.A. & Beckholmen, M., 1990: Influence of regional shear zones in the lithological pattern in central Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 112*, 197–199.

Lower and middle Triassic aquifers in SW Skåne and adjacent offshore areas – stratigraphy, petrology and subsurface characteristics

MIKAEL ERLSTRÖM & ULF SIVHED, SGU, Lund

The performed research is in parts initiated by the increasing rejuvenated commercial interest in the deep subsurface geological characteristics of the sedimentary bedrock in Sweden and adjacent areas. Pre-investigations concerning the geothermal potential in the subsurface bedrock beneath Malmö and Copenhagen were launched in the middle 1990s. These pre-investigations included geological modelling largely based on OPAB (Swedish Oil Prospecting Co) data from the 1970s and a complementary seismic survey in Öresund, Copenhagen and Malmö in 1999.

Between 2001 and 2002 Sydkraft, DONG A/S (Danish Oil and Natural Gas) and HGS (Hovedstadsområdets Geotermiske Samarbejde) drilled four deep boreholes (FFC-1, -2 and MAH-1, -2) for geothermal purposes. The geothermal target was the sandstone aquifers in the Jurassic and Triassic succession below 1500 m depth.

Questions concerning the potential for other uses have arisen contemporaneously with the geothermal interest. The potential of capture and storage of CO₂ in deep aquifers are one of the most interesting geoscientific issues today. The importance of this possibility is among others stressed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Potential areas in Sweden lie within the sedimentary bedrock basins in the Baltic Sea and the areas structurally belonging to the Danish Basin, thus, the south-western part of Skåne and adjacent offshore areas (KVA-IVA, 2004). The Triassic succession is one of the potential candidates for storage. Since most of the storage candidates extend beyond the nation border crossing distribution it is of great importance that the different beds can be laterally correlated. Understanding of hydraulic barriers and palaeodepositional patterns is also important as to be able to evaluate storage capacity (volume) and reservoir characteristics.

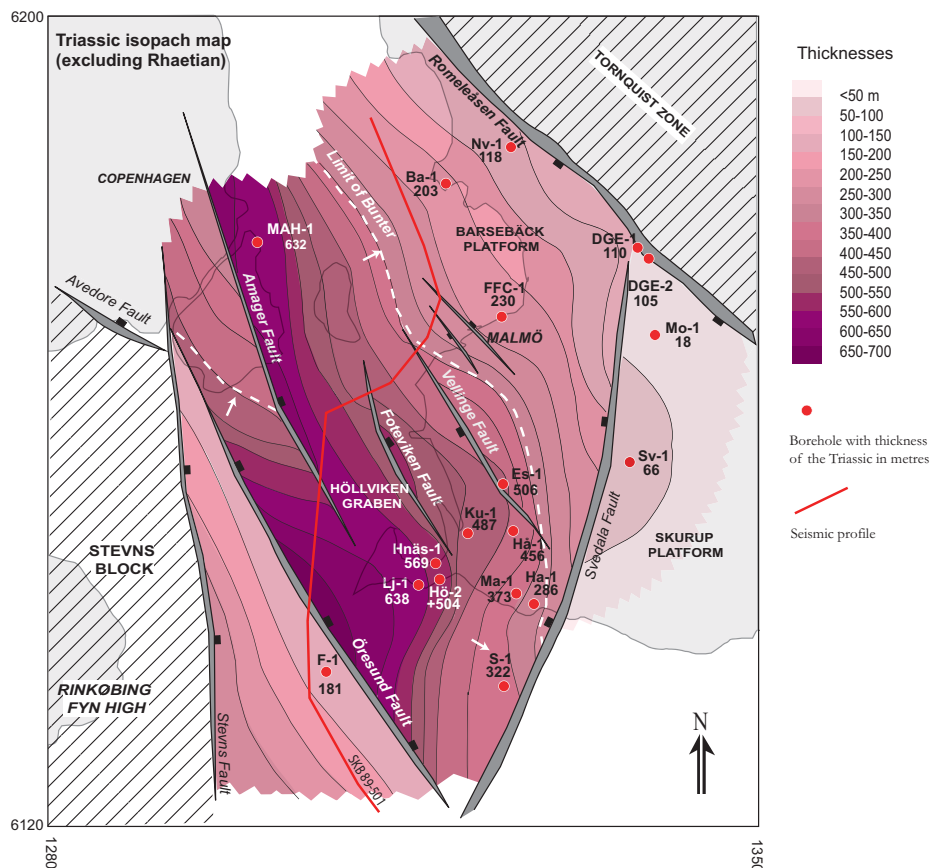


Fig. 1. Isopach map of the Triassic in SW Skåne and the southern Öresund region.

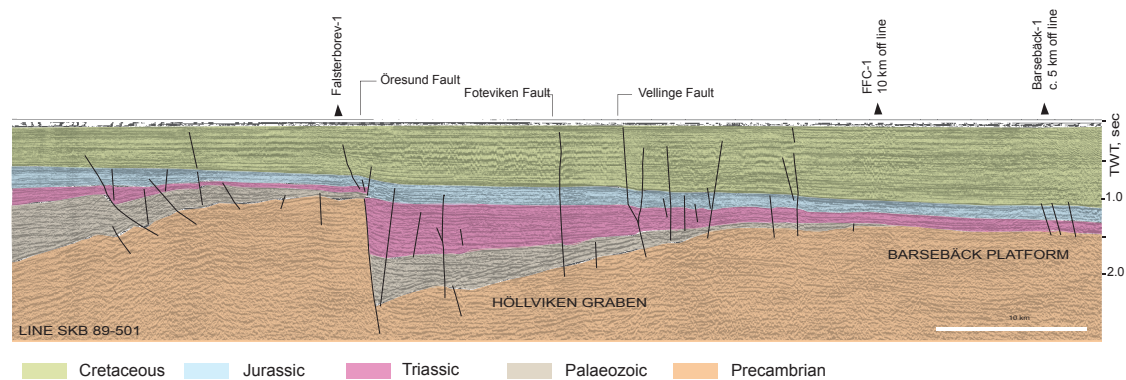


Fig. 2. Seismic cross section showing the subsurface structural framework in the Höllviken Graben and adjacent areas.

The new boreholes in Copenhagen and in Malmö penetrate a Triassic sequence dominated by claystone with sandstone interbeds throughout, especially in the lower parts. The deepest sandstone aquifers, of the Bunter Sandstone, lies at 2400–2600 m depth and have shown to produce in the range of 150–300 m³/hr warm water. The temperature is c. 70°C at 2500 m depth. The different sandstone aquifers have, however, been difficult to correlate laterally due to the lack of a consistent stratigraphical control and terminology between countries.

The knowledge of the Triassic in the Höllviken Graben and in the marginal parts of the Danish Basin has so far largely been based on the stratigraphical terminology presented by Brotzen (1950) and by OPAB (unpublished reports). This terminology has been found to be inadequate for correlation with corresponding strata in the more central parts of the Danish Basin as well as correlation with the Triassic deposits in northern Germany.

The results from geophysical well logging and analyses of cuttings during drilling of the new wells in Malmö and Copenhagen show that the Triassic succession includes key beds with lithological features that could be used for stratigraphical purposes. The research has by means of palynology been able to date these intervals in Höllviken-2 and FFC-1 where fine clastics contain pollen and spores of Ladinian age (Piasecki 2005). These deposits are well known in northern Germany as the Erfurt Formation (Bachmann 1998). This key interval is important for the understanding of the general stratigraphical framework. In combination with interpretation of geophysical logs, seismic data and petrophysical characteristics a new subsurface model and stratigraphy of the Triassic in the Höllviken Graben is presented. It is now possible to describe the lateral extension and variability of the main Triassic aquifers found in FFC-1 and MAH-1.

A comprehensive lithological and petrophysical characterisation is presented on the sandstone aquifers, which can be of potential interest as candidates for CO₂ storage and/or geothermal production. The porosities in the sandstones are between 3 and 15% and have permeabilities of up to 500 mD. The most interesting aquifers for geothermal and CO₂ storage are the Bunter Sandstone and the Ljunghusen Sandstone of Scythian age. These aquifers are found in the deepest parts of the Höllviken Graben. Potential aquifers are also found in the Upper Triassic Kågeröd Formation. However, these are laterally more variable in petrophysical characteristics due to varying degree of cementation and matrix content. The Bunter sandstone aquifers are more homogeneous in composition and show better lateral continuity.

References

- KVA/IVA, 2003: Fossila bränslen utan koldioxid – är det möjligt? *Kungliga vetenskapsakademien*.
- Bachmann, G.H., 1998: The Germanic Triassic: General. International Symposium on the Epicontinental Triassic. Halle Saale. *Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften*. B:5, 19–22.
- Brotzen, F., 1950: De geologiska resultaten från borrhningarna vid Höllviken. Del 2. Undre kritan och trias. *Sveriges geologiska undersökning C 505*, 1–48.
- Piasecki, S., 2005: A new, Ladinian palyno-flora in the Triassic of Sweden. Palynological analysis of the FFC-1 and -2 wells at Malmö and the cored well Höllviken-2. *GEUS report 2005/41*, 1–44.

Utveckling av petrografisk analysmetodik vid bergkvalitetsbedömningar

SVEN LUNDQVIST & MATTIAS GÖRANSSON, SGU, Uppsala

Syftet med föreliggande projekt är att öka kunskaperna och förbättra metodik vid bedömning av bergarters mekaniska egenskaper, dels för användning inom SGUs tätortskartering, dels för en kvalitetshöjning av den geologiska information samhället använder sig av. Projektet är en fördjupning och utveckling av det tidigare genomförda FoU-projektet ”Utvärdering och tolkning av petrografiska parametrar i relation till data från tekniska bergkvalitetsanalyser”.

Målsättningen är att kunna definiera metoder och kritiska observationer vid petrografisk analys. Uppgiften är att med utgångspunkt från parametrar inom petrografisk analys, t.ex. kornstorlek, korngränser och kornstorleksheterogenitet, jämföra och analysera de olika testresultaten erhållna från bl.a. kulkvarns- och Los Angelesanalys, dvs. förhållandet mellan bergmaterialets abrasiva och spröda egenskaper. Data och analysresultat från de olika bergkvalitetsprojekten har använts.

Fördjupning har skett rörande de mer komplexa parametrarna; glimmer, anisotropi och strukturer, metamorfos och omkristallisering, samt mineralfördelning. I projektet har även ett försök gjorts för att utveckla principer och terminologi för att beskriva strukturer i grövre, heterogena, gnejsiga bergarter.

Undersökningarna har visat att deformationen i provtagna granitoider tydligt påverkar de mekaniska egenskaperna, där olika deformationsstrukturer påverkar egenskaperna olika. Bergarterna har delats in i tre grupper utifrån deras kulkvarnsvärde, och refereras nedan till dessa. Kk-klass 1 motsvaras av värden upp till 12 %, Kk-klass 2 mellan 12 och 20 %, och Kk-klass 3 över 20 %, benämns nedan som klass 1–3.

Glimmerhalten (inkl. klorit) är en påvisbar faktor som delvis korrelerar mot bergkvaliteten, såtillvida att det mellan de tre klasserna finns skillnad i genomsnittlig glimmerhalt. Med försämrat Kk-värde ökar den genomsnittliga glimmerhalten. Anmärkningsvärt är att det finns en stor spridning i glimmerhalt inom varje klass, vilket visar att glimmerhalt är en vanskelig bedömningsgrund för bergkvalitet. Berg med utmärkta tekniska egenskaper kan sålunda innehålla mycket glimmer, och visar att de slutliga egenskaperna styrs av kombinationen av glimmer med andra komponenter.

Vad gäller strukturer kan flera parametrar bedömas. Parallella strukturer har definierats till typ, mängd och form. Deformation som utvecklats i tunna, mylonitiska stråk förbättrar ofta nötningsmotståndet i en bergart. Det är därför fler prover med mylonitiska stråk utvecklade i klass 1 (och även 2). Dock är det ingen garanti för en bergart med mylonitiska stråk, eftersom detta kan uppvägas av stråk med glimmer, framför allt om glimmern är orienterad, grovkornig och är sekundärt tillväxt. Detta kan hittas med kornförgrovd, strainfri kvarts. Avgörande för bergartens styrka är därför graden av kornförgrovnings och statisk omkristallisering. Det har visat sig att denna återhämtningsprocess motverkar egenskaperna som uppkommit p.g.a. deformationen.

Den parallella strukturen kan vara utvecklad i olika grad av kontinuerliga eller diskreta domäner, där båda är representerade i lika hög grad i alla tre klasserna. Bergarter med heterogent utvecklade strukturer verkar få förbättrade egenskaper – fler återfinns i klass 1 än i klass 2 och 3. Graden av utveckling av parallellt arrangerade strukturelement ökar med sämre klass och graden av utveckling av oregelbundet arrangerade strukturelement ökar med bättre klass. Vidare syns inget samband i någon av klasserna mellan bergartstillhörighet och utvecklingen av parallella resp. oregelbundna element. I enskilda prov kan man dock se att de allra lägsta Kk-värdena representeras av enbart oregelbundna element, medan de allra högsta Kk-värdena representeras av enbart parallella element.

Flera prov har utvecklat en anastomoserande parallellstruktur, vilken oftare finns representerad i klass 1 och 2.

Försök att definiera s.k. cleavage domains och microlithons till tjocklek, grad, mängd och avstånd har gjorts, men undersökta bergarter har visat sig vara för grovkorniga och heterogena för att kunna korrelera dessa parametrar mot tekniska resultat.

Mineralorientering är ett av de viktigaste parallellorienteringselementen, där kvarts och glimmer uppvisar mineralorientering i lika hög grad i de tre klasserna. Kalifältpat och plagioklas är tydligare mineralorienterad i klass 1 och 2 än i 3. I klass 1 och 2 är dessutom de accessoriska mineralen mineralorienterade.

Bergartsskillnader är få, men fler granitoider återfinns i klass 1, och fler sedimentådergnejser återfinns i klass 3.

Ett mått på deformation är graden av synlig omkristallisering i betydelsen kornstorleksförminskning. Omkristalliseringen ökar med bättre Kk-värde. Detta är även bergartsbetingat, där sedimentådergnejser är mindre omkristalliserade än granitoider.

Fördelningen av mineral i kompositionella band uppträder i bergarter inom alla tre klasserna, men eventuellt finns en svag trend att fler prov finns representerade i klass 3. En heterogen mineralfördelning ökar i grad med ökande kvalitet, dvs. lägre Kk-värde. Detta är även bergartsbetingat, där granitoider uppvisar en mer entydigt heterogen mineralfördelning, medan ytbergarterna uppvisar stora skillnader inom bergartsgruppen.

Kornstorleksskillnader finns i alla tre klasserna. De minsta kornstorlekarna, och fler sådana, återfinns i prov i klass 1. Det finns också en svag trend att alla prover uppvisar försämrade LA-tal med jämnkornighetsökning. De bästa värdena representerar prov som är mycket ojämnkorniga, alltså har både finkornigt matrix och stora strökorn. Även proverna i Kk-klass 1 är mer ojämnkorniga än klass 2 och 3.

Undersökning av bergkvalitet med kvantitativ mikroskopi och datorsimulering

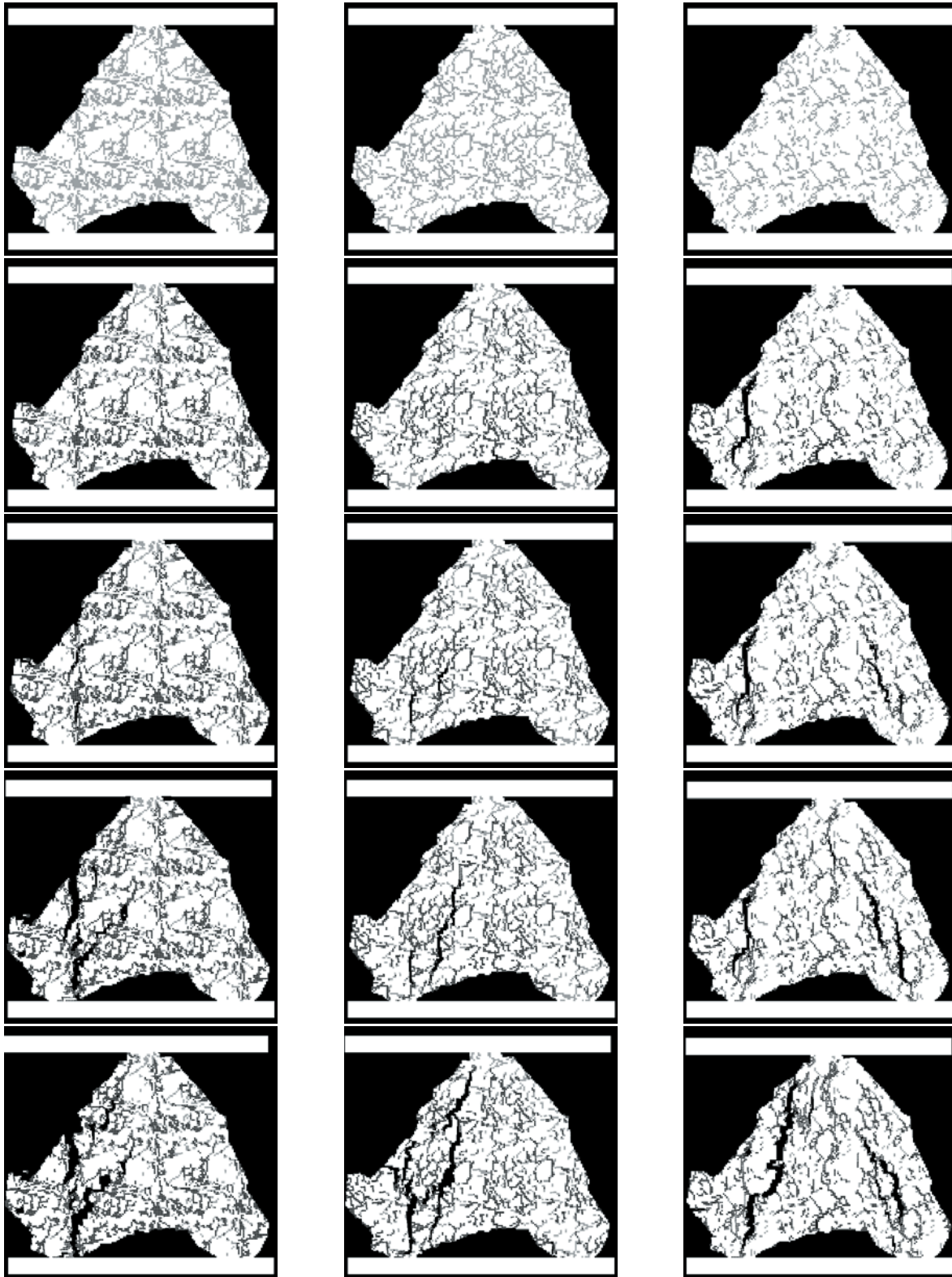
HONGYUAN LIU, SHAOQUAN KOU & PER-ARNE LINDQVIST
Luleå University of Technology (LTU)

JAN ERIK LINDQVIST & URBAN ÅKESSON
Swedish National Testing and Research Institute (SP)

I presentationen beskrivs ett nytt angreppssätt för att undersöka bergkvalitet. Metodiken omfattar kvantifiering av texturegenskaper från undersökning av slipprouver i optiskt mikroskop och SEM, laboratorietester av mekaniska egenskaper och datorberäkningar. Tre graniter med lika mineralsammansättning och kornstorlek men med olika mekaniska egenskaper har undersökts. I föredraget lämnas en sammanfattning av utförda arbeten från första året av ett forskningsprojekt som finansieras av SGU.

Mikroskopiundersökningarna omfattar bestämning av mineralsammansättning, kornstorleksfördelning, antal och fördelning av storlek på mikrosprickor och beräkning av kornomkrets. Fotografier och bildanalys utnyttjas även som indata till beräkningarna. I laboratorium har bergprovernas tryck- och draghållfasthet, elastiska egenskaper och fragmenteringsegenskaper undersökts, det sistnämnda med s.k. Dutch Static Compression Test (DSC test). Los Angeles (LA test) data har hämtats från tidigare undersökningar av SGU. Kvantifierade data och testdata bearbetas och utnyttjas som indata vid datorberäkningarna. Dessa har utförts med två olika materialmodeller. En stor mängd beräkningar har utförts på enskilda partiklar med olika form och på partikelansamlingar genom att efterlikna DSC-testet. I föredraget redovisas några intressanta exempel på från dessa simuleringar genom animering av sprickinitiering, spricktillväxt och fragmentering, se figuren. Från en stor jämförande undersökning av olika testmetoder för bergkvalitet kan en grov jämförelse göras mellan beräknade LA-data via simulering av DSC-testet och LA-data från laboratorietester. Dessa visar att bergproven kan rangordnas på rätt sätt med hjälp av simulering.

Undersökningen visar att det är den sammantagna effekten av texturegenskaper som inverkar på bergkvalitet. En eller några få parametrar kan inte ensamma förklara bergets mekaniska egenskaper. Arbetet visar också att fördelningen av storlek på mikrosprick i berget har stor inverkan. Från det hittillsvarande arbetet kan man dra slutsatsen att en kombination av kvantitativ mikroskopi och datorberäkningar med det använda datorprogrammet har stora förutsättningar att bli ett viktigt hjälpmedel för ökad förståelse för samband mellan geologiska och mekaniska egenskaper hos berg och ett verktyg för kvalitetsbestämning av bergmaterial.



a) Ävja

b) LEP

c) Vändle

Microstructural modelling of single aggregate breakage under multiple-point loading conditions: a) Ävja, b) LEP, c) Vändle

Södra Sveriges berggrundsbildning 1.85–1.52 Ga; vad blev fel i tidigare modeller – och varför?

KARL-INGE ÅHÄLL, Karlstads universitet
ahall@kau.se

Föredraget bygger på en sammanställning av nya data från södra Sverige där titel och resultat bifogas nedan. Vidare görs överväganden kring tidigare resultat och berggrundsmodeller i syfte att undvika felslut genom att utveckla såväl begrepp som metodik.

K.-I. Åhäll and Jim Connelly, Precambrian Research, in press:

Long-term convergence along western Baltica: 330 m.y. of Proterozoic crustal growth

New U-Pb geochronology from 31 igneous and 4 metasedimentary rocks in SW Sweden has distinguished major growth-related crustal units in the Idefjorden terrane and a 9-stage evolution of southern Baltica between 1.85–1.52 Ga. This period was characterised by near-continuous, oceanward-stepping, crustal growth that switched from relatively long-lived (40–66 m.y.) continental systems to less stable (c. 5–15 m.y.) oceanic systems. We attribute these geodynamic changes to the advance and retreat of Baltica relative to the active trench.

The subsequent 1.50–1.20 Ga evolution was characterised by widespread intracontinental magmatism, hence, providing permissive evidence for a sizable “proto-SW Norway” juxtaposed to the Idefjorden crust by 1.50 Ga.

The now defined 1634–1594 Ma Göteborg–Åmål Belt (GAB) formed from continental arc magmatism and combines the rocks of the granitoid Göteborg suite (1634–1594 Ma) and the volcano-sedimentary Åmål Formation. The 1588–1522 Ma Hisingen suite is a newly-recognised granitoid unit in the west, which extends the indigenous growth of Baltica to 1522 Ma. Rocks of the previously defined Stora Le–Marstrand (SLM) Formation are now subdivided in two provisional units of similar greywacke-type deposits with intercalated metabasalts that formed in an oceanic arc or back-arc setting. The c. 1.59 Ga SLM 1 rocks occur in the south and were accreted by 1587 ± 3 Ma. The younger, 1.57–1.55 Ga SLM 2 rocks formed further north (Koster segment) and were accreted by 1545 ± 5 Ma. The latter events coincided with tectonic changes in the south that affected the continental arc magmatism of the Hisingen suite between 1563–1553 Ma.

Recognition of pre-Sveconorwegian links across the Mylonite Zone, and the notable absence of rocks which would mark a (pre-)Sveconorwegian ocean or the closure of such an ocean, strongly imply that the Mylonite Zone formed within Baltica and not between Baltica and a colliding continent.

Isotopic, 1.46–1.40 Ga re-equilibration of Rb-Sr system in Idefjorden terrain rocks extends the area of known Hallandian overprinting.

The refined evolution of Baltica supports a pre-1.81 Ga assembly for the postulated pre-Rodinia supercontinent (Midgardia) that at least included Laurentia and Baltica.

Tektonisk relation mellan Transskandinaviska bältet och gnejsterrängen väster därom

SVEN ÅKE LARSON, Göteborgs universitet

Projektet ”Tektonisk relation mellan Transskandinaviska bältet och gnejsterrängen väster därom” har resulterat i flera manuskript. Några av dessa finns redovisade vid konferenser, t.ex. vid de Nordiska Geologivintermötena i Uppsala (2004) och Uleåborg (2006), andra är inskickade för publicering och granskning. Följande titlar redovisas i ”abstracts” nedan: 1) Pre-Hallandian metamorphism in the Sveconorwegian Province – its implication on the growth of the Fennoscandian Shield (Larson, Stigh, Austin-Hegardt, Tullborg & Hellström); 2) 1.45 Ga metamorphic imprint on zircons from the Transscandinavian Igneous Belt (Appelquist, Brander, Larson & Stigh); 3) Pre-Hallandian metamorphism in the Western Segment of the Sveconorwegian Province (Larson, Stigh & Hellström); 4) Multiple U-Pb ion-probe ages recorded in zircons from a dolerite dyke in southwestern Baltica – constraints on Sveconorwegian evolution (Larson, Stigh, Hellström, Tullborg); 5) Magnetic measurements used to determine the age relations between two sets of dolerite dykes (Gustavsson).

Pre-Hallandian metamorphism in the Sveconorwegian Province – its implication on the growth of the Fennoscandian Shield

SVEN ÅKE LARSON, JIMMY STIGH, ERIC AUSTIN-HEGARDT, EVA-LENA TULLBORG & FREDRIK HELLSTRÖM

Department of Geology, Earth Sciences Centre, Göteborg University, Box 460, SE-405 30 Göteborg, Sweden

Ion-probe dating of zircon and titanite (at NORDSIM, Museum of Natural History, Stockholm) was carried out from different sites of the Sveconorwegian Province in Sweden, both west and east of the Mylonite Zone, a Sveconorwegian shear zone. In the eastern part of the Sveconorwegian Province, to the east of the Mylonite Zone, an anatectic granite derived from a foliated, folded, fine-grained granitoid gneiss, contained zircon that has a U-Pb age of ~ 1.57 Ga. The age of the gneiss is constrained to ~ 1.65 Ga. Titanites in the gneiss show a ~ 1.55 Ga age, i.e. similar to or slightly younger than that recorded for zircon in the anatectic granite.

U-Pb dating of zircon crystals from a pegmatite related to mafic intrusions in the western part of the Sveconorwegian Province in Sweden reveals an age of ~ 1.54 Ga. This rock assemblage outcrops just east of the Göta Älv Shear Zone (GÄSZ), and the pegmatite clearly crosscuts veined and folded gneissic granitoids that were intruded at ~ 1.59 Ga constraining the formation of folded veins between ~ 1.59 Ga and ~ 1.54 Ga. A Sveconorwegian metamorphic event is indicated by zircon grown as rims on magmatic cores.

To the west of GÄSZ xenocrystic zircon crystals from a reomorphic, granitic vein formed by melting of metasediments, reveals a ~ 1.54 Ga metamorphic event, i.e. an age similar to that of ~ 1.55 Ga, widespread granitoid magmatism to the west of the Mylonite Zone.

Thus, coeval metamorphic imprints and magmatism across a Sveconorwegian major shear zone, the Mylonite Zone, separating the Western and Eastern Segments of the Sveconorwegian Province in Sweden, may suggest that this part of the Baltic Shield was united at ~ 1.54 Ga and that basic magmatism is a prominent feature at this time. It is suggested that the Mylonite Zone is a terrane boundary rather than being a Sveconorwegian suture.

1.45 Ga metamorphic imprint on zircons from the Transscandinavian Igneous Belt and the Eastern Segment

KARIN APPELQUIST*, LINUS BRANDER*, SVEN ÅKE LARSON & JIMMY STIGH

Earth Sciences Centre, Göteborg University, Box 460, SE-405 30 Göteborg, Sweden

The relation between the Transscandinavian Igneous Belt (TIB) and the Eastern Segment (ES) of the South-west Scandinavian Domain (SSD) is complex and not yet fully understood. The aim of this study has been to examine how the protolith ages vary between the two domains, and whether the ES and TIB have had a similar metamorphic history. Zircons from 13 different locations across the border between the TIB and ES have been analysed using the ion-microprobe of the Swedish Museum of Natural History, Stockholm. The samples were collected along a transect in south-central Sweden, from Jönköping to Köllingared, 35 kilometres north-west of Jönköping. Samples from the TIB and ES fall into two different age groups; 1.68–1.70 and ~1.45 Ga. The samples with 1.68 to 1.70 Ga ages were mainly from oscillatory zoned zircons. These zircons are interpreted to be magmatic in origin, and thus indicate the protolith ages of both the ES and TIB rocks. The ~1.45 Ga ages were obtained from thin rims and recrystallized domains in zircons from seven granites from both the TIB and ES. These domains are mainly dark in CL images. As the samples have similar protolith and metamorphic ages, we suggest a common history for the ES and the TIB rocks of this study, from their origin until at least ~1.45 Ga. The results also imply that the 1.46–1.42 Ga metamorphic event (Christoffel et al. 1999, Söderlund et al. 2002) of southwestern Sweden must have extended further north and east than previously reported.

Pre-Hallandian metamorphism in the Western Segment of the Sveconorwegian Province

SVEN ÅKE LARSON, JIMMY STIGH & FREDRIK HELLSTRÖM

Department of Geology, Earth Sciences Centre, Göteborg University, Box 460, SE-405 30 Göteborg, Sweden

Ion-probe dating of xenocrystic zircon crystals from a granitic vein intruding in the Stora Le–Marstrand Formation (west Sweden), reveals a 1.54 ± 0.02 Ga metamorphic event in the westernmost part of the Sveconorwegian Province in Sweden (the Western Segment). The metamorphic event is related to widespread granitoid magmatism. It is speculated that the emplacement of these magmas may have been triggered by orogenic collapse of the Gothian crust. Coeval metamorphic imprints and magmatism across the Mylonite Zone in SW Sweden, a Sveconorwegian major shear zone separating the Western and Eastern Segments, may suggest that this part of the Baltic Shield was united at ~1.54 Ga.

Multiple U-Pb ion-probe ages recorded in zircons from a dolerite dyke in southwestern Baltica – constraints on Sveconorwegian evolution

SVEN ÅKE LARSON, JIMMY STIGH, FREDRIK HELLSTRÖM & EVA-LENA TULLBORG

Department of Geology, Earth Sciences Centre, Göteborg University, Box 460, SE-405 30 Göteborg, Sweden

U-Pb dating of zircons from one of the northwest trending Dalsland dolerite dykes in SW Sweden reveals a Sveconorwegian age similar to one of the east–west trending Göteborg dolerite dykes in the Göteborg area. They are approximately 200 km apart, but undated dykes of similar chemistry and direction suggest a coeval swarm of dolerite dykes in the western part of the Sveconorwegian Province in Sweden. This joint dyke swarm, the Göteborg–Dalsland dolerite dykes, is characterised by chemical bimodality. Especially to the north, dykes of higher Ti, P, Zr and LILE content (HPTi-dykes) appear together with dykes of lower contents of these elements (LPTi-dykes). The enriched HPTi-dykes originate from low-degree partial melting

and show little influence of crustal contamination, while the LPTi-dykes were generated by a higher degree of melting and were more influenced by contamination. The magma source was a heterogeneous mantle that was influenced to varying degree by subduction-related metasomatism. There is no definite geographical separation between the two groups, although the former dolerites may be more common in the south than to the north. Zircons separated from one of the dykes, the Billingsfors dyke, reveal three different NORDSIM, U-Pb ion-probe ages. One of these represents the dyke emplacement age at ~ 0.95 Ga, and the others represent the age of the granitic host rock at ~ 1.61 Ga (xenocryst zircons), and resetting of the U-Pb system in zircons in the early Palaeozoic respectively.

Magnetic measurements used to determine the age relations between two sets of dolerite dykes

EVA GUSTAVSSON, Department of Geology, Göteborg University

To the east of the Protogine zone in southern Sweden, dolerite dykes mainly trend N–S. These c. 0.95 Ga so called Blekinge–Dalarna dolerites (BDD) are in some areas accompanied by a set of NW–SE trending dolerites. Since the trends likely mimic different palaeo stress fields it is of interest to reveal the relative age of these sets of dykes in order to place them into a broader tectonic context. Magnetic measurements were applied using kappa-meter and proton-magnetometer. The measurements were carried out along profiles across two dykes and modelled by GM-sys. A chemical analysis of the NW trending dyke was compared to published analyses of the BDD. The modelling suggests a younger relative age of the NW trending dolerite than for the BDD dyke. The anisotropic magnetic intensity in the BDD dyke is suggested to be related to increase in Fe, Ti, Ca and Mg (magnetite and pyroxene) to the central parts of the dyke. The chemistry is similar for the two dykes investigated although some deviations in REE are noticed.

En kombination av Euler dekonvolution och analytisk signal (AN-EUL) för automatisk tolkning av magnetiska data

MEHRDAD BASTANI, LEIF KERO & RUNE JOHANSSON, SGU

Bakgrund

3D Euler dekonvolution används för att erhålla semiautomatiska objektsrelaterade lösningar beträffande djup till magnetisk överyta. Många nya publicerade rapporter om användningen av Euler dekonvolution förligger med föreslagna förbättringar av resultatredovisningen av de många möjliga lösningarna (FritzGerald m.fl., 2004). Man kan med olika fönsterstorlek och strukturindex (SI) ta fram relevanta lösningar. Det är dock en tidskrävande process att hitta bästa kompromiss mellan fönsterstorlek och SI. Salem & Ravat (2003) presenterar en effektiv kombination av analytisk signal och Euler dekonvolution (AN-EUL) för att ta fram djup till magnetiska överyta. Metoden beräknar SI automatiskt. Bastani & Pedersen (2001) utvecklade en metod som bygger på en bearbetning av linjedata för magnetiskt totalfält med en analytisk signalmetod (ASM). De resultat som erhålls är djup, bredd, strykning och stupning för både magnetiska kontakter och gånglika kroppar.

Vi genomförde en systematisk genomgång och testning av de befintliga metodikerna på SGU var för sig. Jämförelse av de lösningar som erhålls för olika koncept och en systematisk diskriminering av det stora antalet lösningar gjordes.

Syntetisk modellering

Några exempel på naturligt förekommande strukturer (fig. 1) i berggrunden återskapades i form av syntetiska magnetiska modeller (diabasgång, magnetisk kontakt, osv.). Syntetiska magnetfältsdata analyserades med de befintliga bearbetningsmetoderna, nämligen Euler dekonvolution (2D & 3D), Werner dekonvolution (2D), ASM och AN-EUL. Sedan analyserades resultaten från de olika metoderna och jämfördes med de använda modellparametrarna.

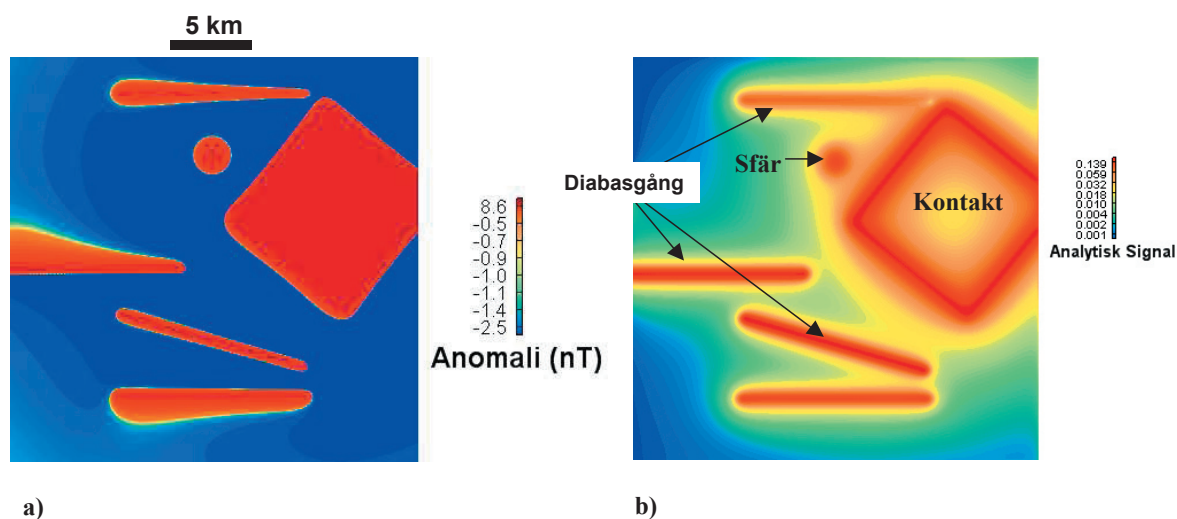


Fig. 1. En av de syntetiska modellerna som användes för att bedöma metodikerna. a) Anomalifält . b) Analytisk signal.

Lågmagnetiska zoner, vilka kan vara mycket viktiga strukturer för prospektering efter vatten i berg, kommer att modelleras senare.

Förbättring av griddgenerering genom linjär interpolering.

De flesta bearbetningsmetoderna använder data från gridd och resultaten påverkas av ursprungsgriddens kvalitet. Ny riktningsinformation, som tagits fram från ASM användes för att skapa bättre interpolerade

värden mellan flyglinjerna. Test med syntetiska data visar att linjär interpolering mellan flyglinjerna förbättrar griddens kvalitet och därmed även 3D Euler-lösningarna.

Test med SGUs data

I samarbete mellan två av SGUs interna projekt testades AN-EUL- och ASM-metoderna med syntetiska modeller (fig. 2) som har skapats efter den befintliga geologiska-geofysiska informationen. Ett av områdena ligger vid Fulufjället. Enligt en preliminär geologisk modell finns diabasgångssystem med olika djup till överytan beroende på antagen överskjutningstektonik vid Fulufjället.

AN-EUL kommer även att testas för att bestämma fjällbergarternas mäktighet i fjällranden vid Hackås. Metoden kommer att testas på ett område i Jämtland där information från borrhningar är tillgänglig. Borrhningarna har genomförts i samband med det så kallade Alunskifferprojektet (Gee m.fl. 1982).

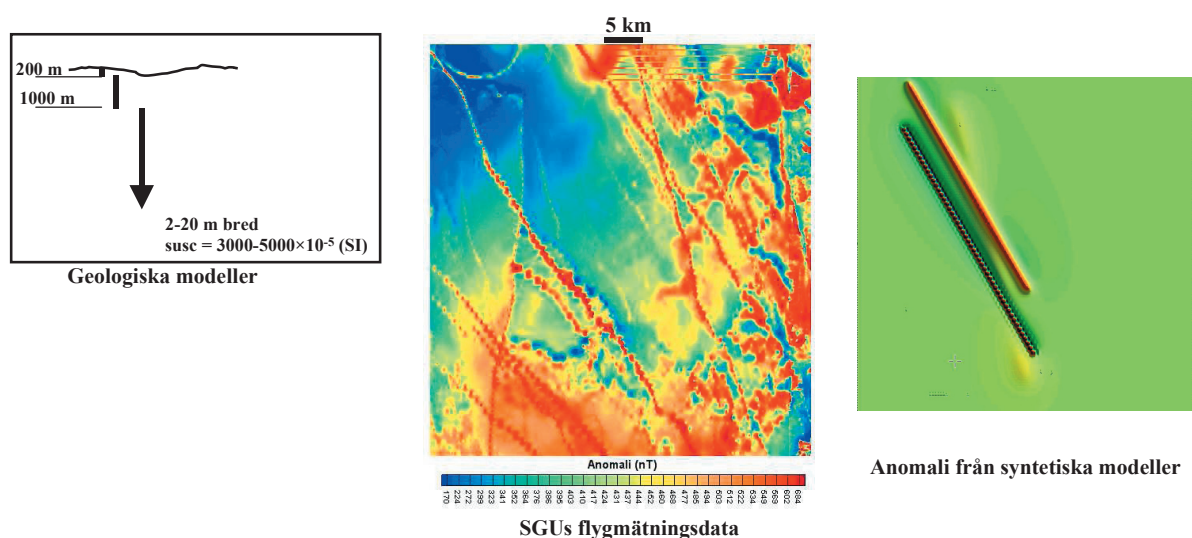


Fig. 2. Geologiska modeller tillsammans med SGUs flygmagnetiska data och de syntetiska data.

Uppnådda resultat

Tester med syntetiska data visar att AN-EUL-metoden har bästa upplösning att ta fram de strukturella indexen (SI) och beräkna djup till magnetiska strukturer. Indexen kan användas för att förbättra tolkningen genom att identifiera och kartlägga utbredning av olika geologiska strukturer. AN-EUL är mycket snabbare än den vanliga 3D Euler dekonvolutionen och löser problemen att hitta rätta fönsterstorlek samt SI. ASM tar fram detaljerad information om stupning och strykning av framför allt de linjära strukturerna.

Referenser

- Bastani, M. & Pedersen, L.B., 2001: Automatic interpretation of magnetic dike parameters using the analytical signal technique: *Geophysics* 66, 551–561.
- FritzGerald D., Reid, A. & McInerney, P., 2004: New discrimination techniques for Euler deconvolution. *Computers & Geoscience* 30, 461–469.
- Gee, D.G., Snäll, S. & Stejskal, V., 1982: Alunskifferprojektet – Undersökningar mellan Östersund och Svenstavik. *Sveriges geologiska undersökning PRAP 82502*.
- Salem, A. & Ravat, D., 2003: A combined analytic signal and Euler method (AN-EUL) for automatic interpretation of magnetic data. *Geophysics* 68:6, 1952–1961.

Radon in groundwater – analysis of causes and development of a prediction methodology

KIRLNA SKEPPSTRÖM AND BO OLOFSSON, KTH, Stockholm

INTRODUCTION

Radon (^{222}Rn) is the main contributor to natural radiation in Sweden. The occurrence of ^{222}Rn in groundwater depends on the uranium content in the rock matrix and the heterogeneity of fractures (transport mechanism, fluid-mineral interactions), which render the prediction of ^{222}Rn levels in groundwater complex. There is a great need to predict the radon potential in groundwater from a municipal planning point of view. The hypothesis of this research states that an integrated multivariable analysis including factors of geology, hydrology, topography and geochemistry and technical factors favour the development of a prediction method of the concentration of radon in drinking water. The overall aim of this study was to develop a methodology that could be used to predict radon levels in groundwater on a general scale.

Study site and methodology

Analyses of data were made for the County of Stockholm (Fig. 1). A detailed study was carried out at the southern and central parts of Ljusterö, Österåker municipality. Radon concentrations in groundwater for 4439 private wells were provided by Stockholm County and various municipalities. Data obtained from the Geological Survey of Sweden (SGU) consisted of soil, bedrock, fracture distribution (derived from lineament maps) and airborne radiometric measurements of uranium. Elevation data and land use data were obtained from the Swedish National Land Survey.

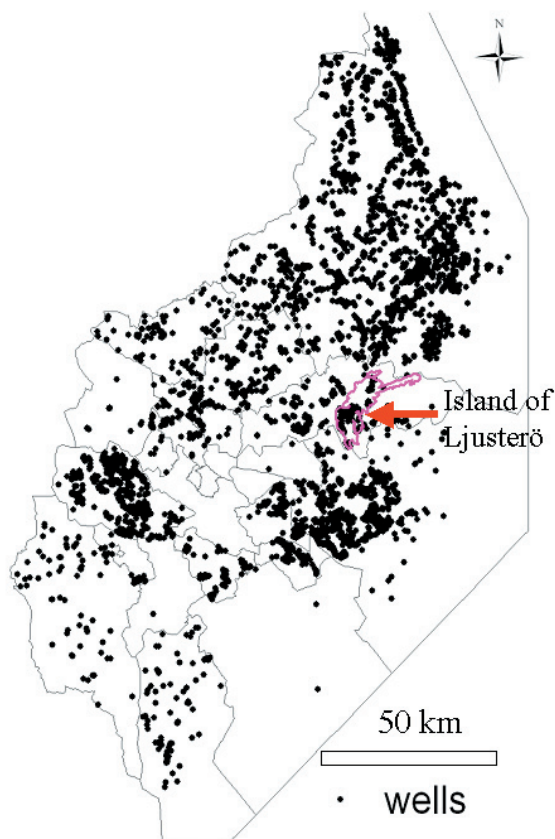


Fig. 1. Drilled wells with radon measurements in the Stockholm County.

Data was preprocessed and a visual data mining based on 3D images was performed using the ArcGIS software. The Risk Variable Method (RV method) was applied to the dataset. The method involved multivariate (principal component analysis) and univariate (Kruskal Wallis ANOVA by ranks) statistical analyses. Risk indices were computed using linear regression based on the least square method. The model was calibrated on a general scale (185 km x 145 km) using half of the data from the 4439 wells, chosen randomly. Risk indices were also calculated for 12 subregions, each of area 25 km x 25 km, as a validation step. Calculated risk values were then integrated in GIS to develop a prediction map. A field study involving sampling and analysis of groundwater from 38 private wells was also performed on Ljusterö island in the Stockholm archipelago. This constituted a preliminary step of a detailed study that would be conducted in a future work.

Results and discussions

Both visual data mining (an example of multi-dimensional visualization is illustrated in Fig. 2) and statistical analyses revealed that high radon values occurred predominantly on low elevations and vice versa. Although high radon concentrations often are associated with granitic rocks, peaks of high radon values are not always located in regions where high uranium content in bedrock has been recorded in airborne measurements. It was also observed that areas covered with till or clay had higher radon concentrations in the bedrock groundwater compared to bedrock outcropping areas or if the overlying soil was sand.

The weighted index (risk value) estimated by the RV method provided a fair prediction of the radon potential in groundwater on a general scale (185 km x 145 km) during the calibration stage. The RV method was also successful in estimating the median radon concentration within subregions (at a local scale, each of area 25 km x 25 km), based on weighted index values obtained from half of all wells tested. A high correlation ($r = -0.87$) between calculated risk values and median radon concentrations was obtained (Fig. 3). Risk values were successfully integrated in GIS and a prediction map showing different risk areas was generated

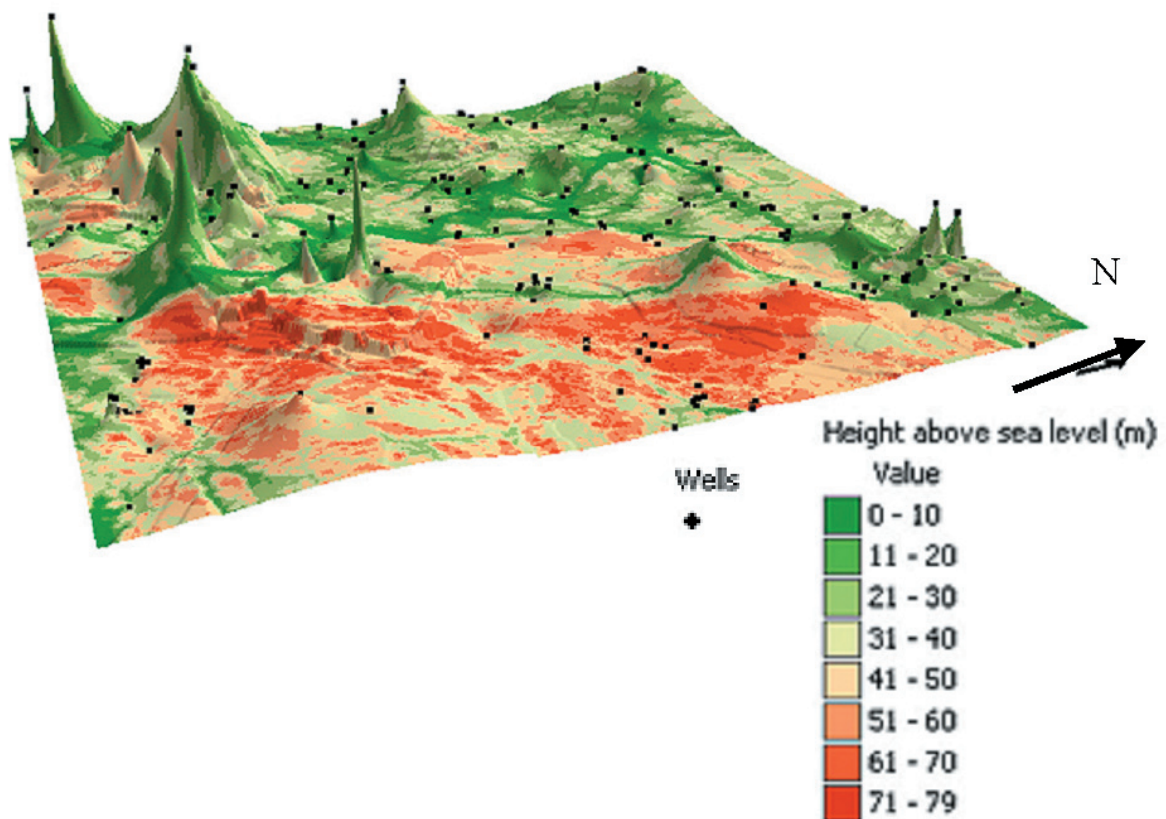


Fig. 2. Visualisation of radon measurements in wells related to altitude of the well. The area is 25 km x 25 km (Demšar & Skeppström 2005).

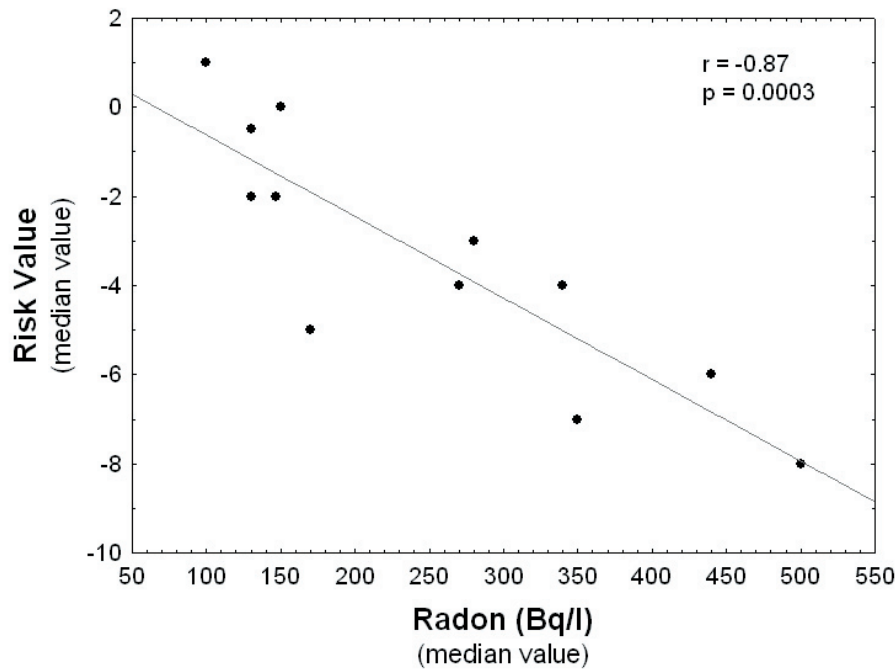


Fig. 3. The relationship between median risk values and median radon values for 12 test areas within the study region (total n = 2209).

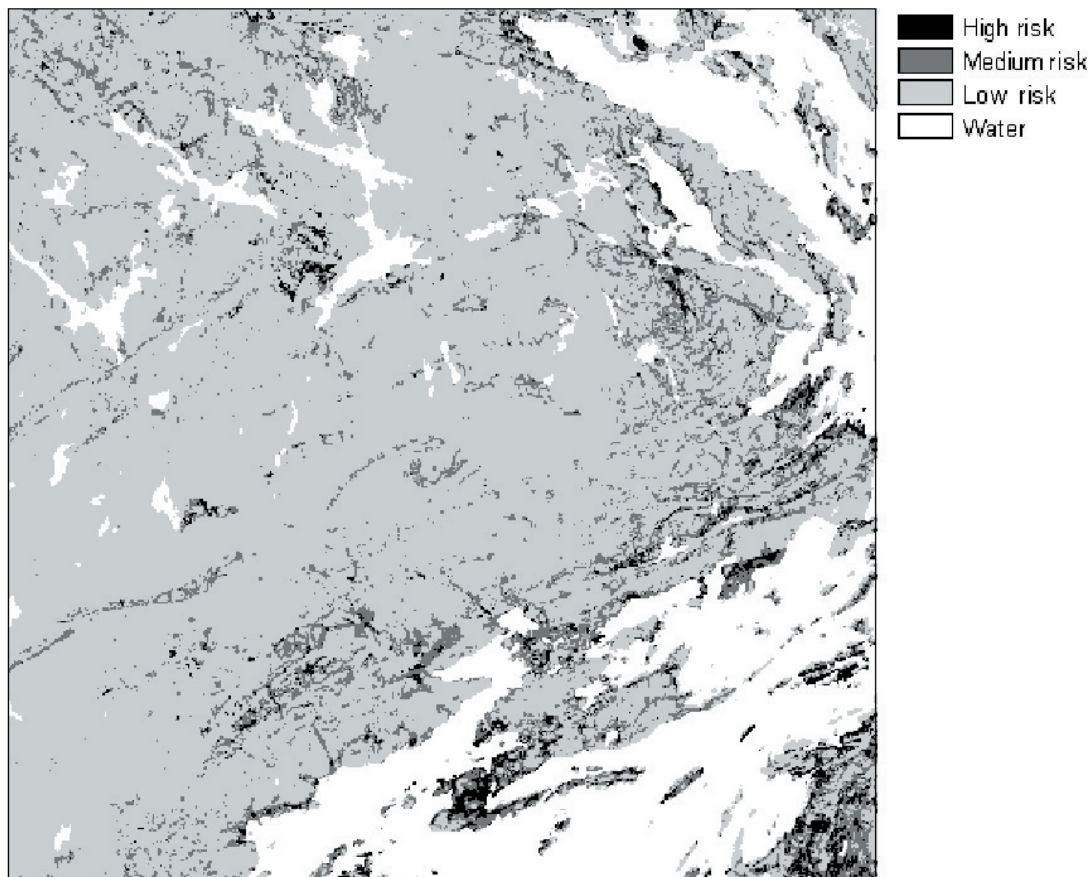


Fig. 4. Example of a radon prediction map southeast of Stockholm based on the RV method applied to GIS. The area covers 25 km x 25 km.

(Fig. 4). Results of the field study conducted on Ljusterö showed that ^{222}Rn concentrations in groundwater were weakly correlated to the parent elements (^{226}Ra and ^{238}U) in solution.

Conclusions

The risk variable method was useful to identify areas with increased radon concentrations in the groundwater on a general scale. Factors of significance for the prediction of radon in groundwater were: type of bedrock, type of soil, altitude, use of the wells, distance to a fracture zone and the distribution of uranium in bedrock. The study has evaluated different spatial data for the purpose of developing a prediction methodology for ^{222}Rn in groundwater on a general scale. Further research will be concentrated on the dynamics of subsurface processes, which probably have a strong influence on the occurrence and migration of radionuclides (^{222}Rn , ^{226}Ra and ^{238}U). The work is presented in a licentiate thesis (Skeppström 2005), three conference proceedings and two scientific papers (e.g. Demšar & Skeppström 2005, Skeppström & Olofsson 2006).

Key words: Radon; Groundwater; GIS; RV method; Multivariate statistics.

References

- Demšar, U. & Skeppström, K., 2005: Use of GIS and 3D visualisation to investigate radon problem in groundwater. In: H. Hauska and H. Tveite (editors). *10th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science, Scangis, Stockholm, Sweden, June 13–15*, 39–51.
- Skeppström, K., 2005: Radon in groundwater – influencing factors and prediction methodology for a Swedish environment. *Licentiate thesis. Dept of Land and Water Resources Engineering, KTH, TRITA-LWR.LIC 2032*.
- Skeppström, K. & Olofsson, B., 2006: A prediction method for radon in groundwater using GIS and multivariate statistics (Accepted for publication in *Science of the Total Environment*).

Produktutveckling av palaeogeografiska kartor

LEIF ANDERSSON & TORE PÄSSE, SGU, Göteborg

Bakgrund

En landhöjningsmodell för att producera paleogeografiska kartor har under några år använts inom SGU. En detaljerad redovisning av denna modell samt vissa slutsatser avseende strandförskjutningsförloppet har nyligen presenterats av Pässe & Andersson (2005). En kort sammanfattning av modellen och dessa resultat har också presenterats i SGU-information nr 1 2006.

Ursprungligen utvecklades själva modellen enbart för att illustrera strandförskjutningsförloppet. För att kunna modellera uppkomsten av issjöar samt för att på ett pedagogiskt sätt redovisa landskapsutvecklingen har en grov bild av isavsmältningens förlopp, huvudsakligen härlett från *Berg och jord*, inarbetats i modellen. Initierade kollegor har kommit med konstruktiva förslag till förbättringar avseende det isavsmältningsförloppet vi ursprungligen återgett i vår modell. Vi har även fått tillgång till mycket detaljerad digital information avseende exempelvis Weichselisens maximala utbredning (fig. 1).

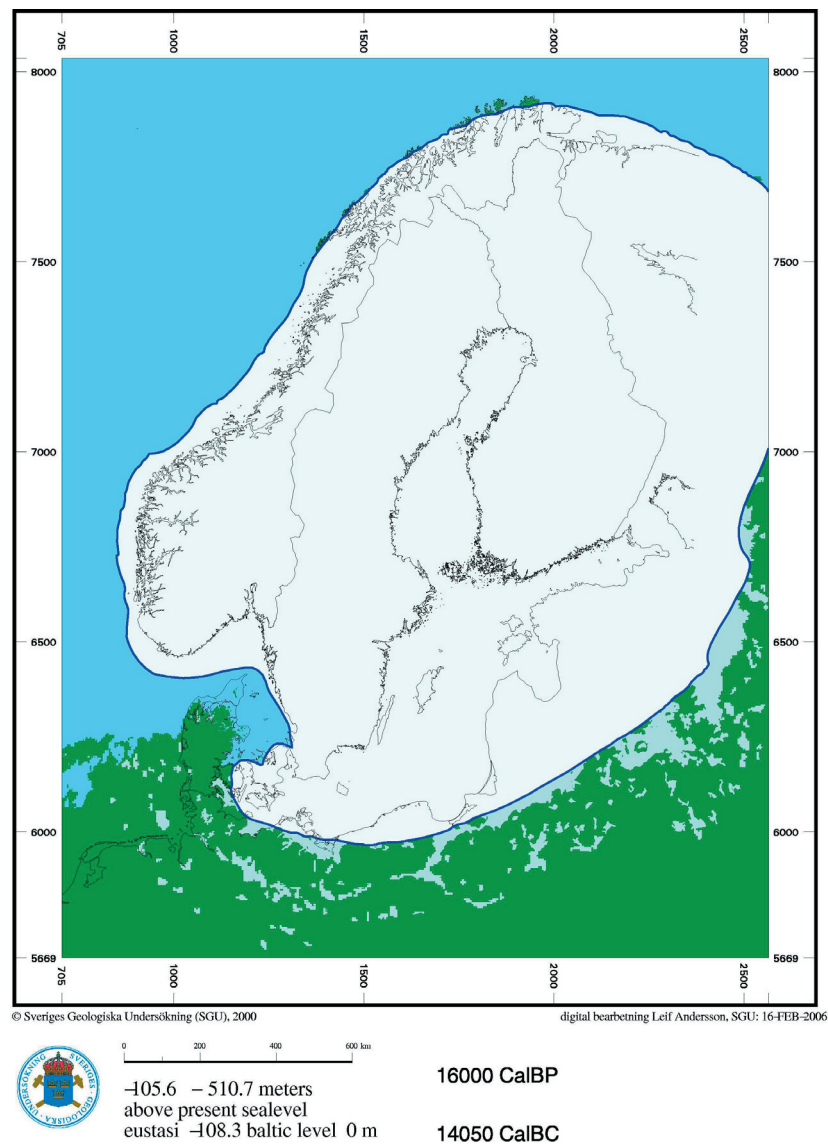


Fig. 1. En framställning av strandlinjer och isutbredning 16000 BP.

Utförda arbeten

Landhöjningsmodellen har kompletterats med mer detaljerad information av deglaciationsförloppet men också utvidgats till att täcka stora delar av Nordeuropa. Modellen har även förbättrats i vissa delar med hjälp av mer detaljerade höjddatabaser.

En mer omfattande skriftlig redovisning av projektets uppnådda resultat är knappast meningsfull eftersom resultatet består i att vi skapat ett bättre verktyg för att producera paleogeografiska kartor. I föredraget som presenteras under FoU-dagarna visas exempel på nyproducerade kartor.

I vårt projekt har vi haft möjlighet att granska och revidera tidigare uppfattningar om isavsmältningens förlopp i mellansvenska randzonen i Västergötland genom de resultat som framkommit vid kartläggningen av detta område. Tidigare tolkningar av isavsmältningens förlopp i detta område tycks starkt ha påverkats av idén att få isavsmältningen att passa ihop med en tappningskatastrof vid Billingen (fig. 2).

I föredraget påvisas och exemplifieras också den möjlighet som modellen erbjuder att visa regionala och tidsmässiga skillnader i deglaciationshastigheten.

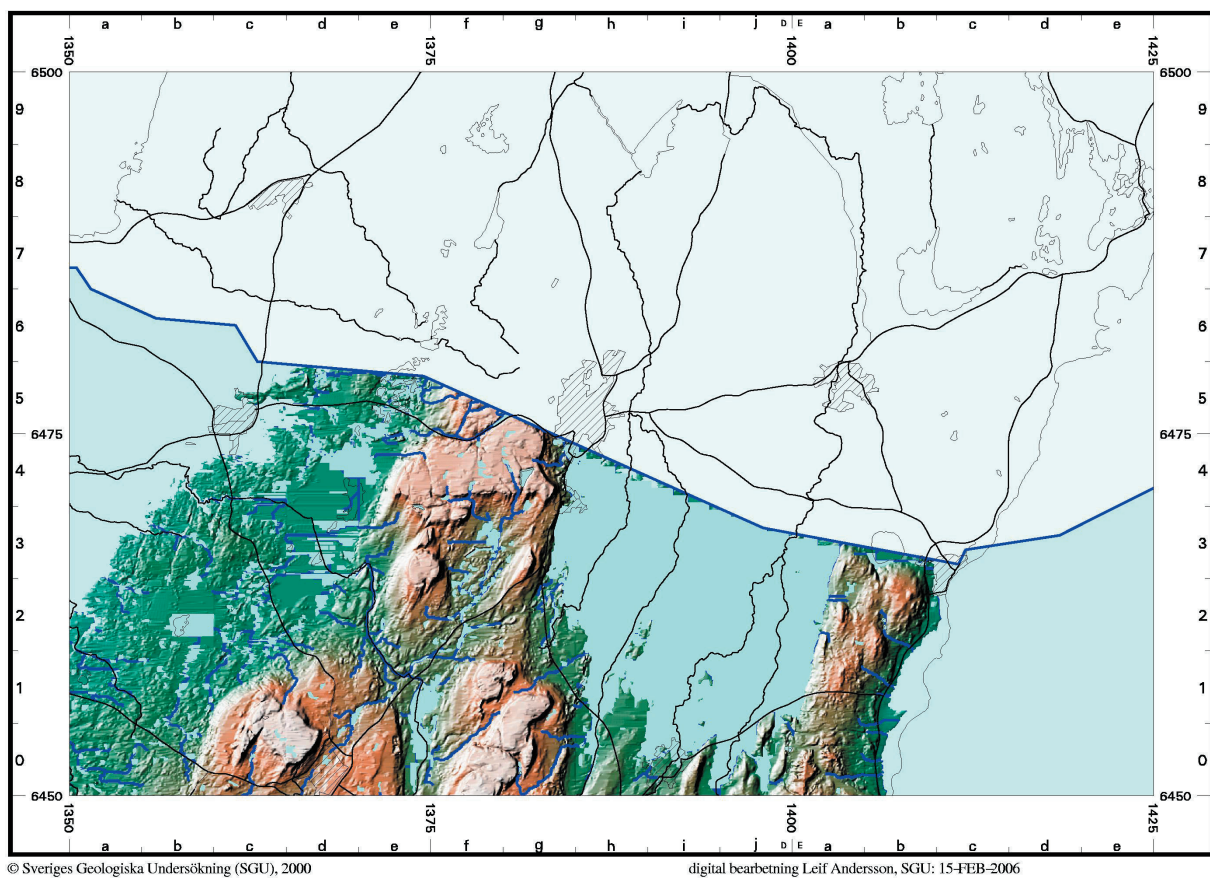


Fig. 2. Detaljerad bild av fornsjöar och isutbredning i Västergötland 12100 BP.

Referens

Pässe, T. & Andersson, L., 2005: Shore-level displacement in Fennoscandia calculated from empirical data. *GFF* 127, 253–268.

Visualization, GIS and (geo)statistics for geochemical data interpretation and anomaly separation

KATRIN GRÜNFELD, KTH, Stockholm

The Geological Survey of Sweden (SGU) maintains large geochemical databases - concentrations of chemical elements in rocks, surface sediments and biogeochemical materials – mapped during regional geochemical surveys. These databases contain information on both natural and anthropogenic geochemical anomalies and associations of elements in the surface environment. However, geochemical data are complex and imprecise, the analytical results may contain errors, values under the detection limits, and extreme outliers. Geochemical data are also multivariate and the concentrations of chemical elements in the samples are often spatially autocorrelated. These characteristics of multi-element geochemical data influence the choice of data analysis techniques, which have to be appropriate for the data, as well as provide answers to the questions posed. Some of the important issues in geochemical data analysis are dealing with extreme data values, integrating data from different geochemical surveys, and separating anthropogenic influences from natural geochemical background.

The approach proposed in this study combines geostatistical, multivariate statistical and GIS tools with exploratory visualization and data mining techniques, in order to study the distribution of six metals (Cu, Co, Ni, Pb, V and Zn) in rocks, till, stream plants, and moss. The results of the study indicate that simple high-dimensional visualization techniques can successfully complement statistical and GIS analysis in all steps of data processing, from data description and outlier identification through data integration, analysis, validation, and presentation of the results. Several graphical approaches were developed to present and summarize multi-element geochemical data (Fig. 1) as well as visualize results from numerical analyses. Temporal trends in the concentration of five metals and three moss monitoring surveys were summarized on one single graph. Visualization approach outperformed univariate statistical outlier removal technique and proved to be better in preserving potentially important spatial multi-element patterns present in the geochemical dataset. In addition to visualization, geostatistics and PCA were successfully applied to detect multi-element outliers, censored values and data errors in multi-element data. Visualizing multi-element geochemical signatures of rocks helped the characterization of different rock types. Multi-element patterns extracted from till geochemical data correlated well with the composition of underlying bedrock within the study area. Suitability of commonly available interpolation and smoothing techniques for interpolation of till geochemical and biogeochemical data was discussed in relation to sampling density and data variability. Hierarchical clustering of regional geochemical data showed that visual data mining techniques have a good potential for exploration of complex geochemical datasets. A combination and comparison of numerical and non-numerical, visual and non-visual techniques was applied for relating multi-element geochemical anomalies in regional geochemistry of till and stream plants. Anomaly separation was based on most influential spatially confined multi-element geochemical signatures in till data. Some of the multi-element anomalies detected in biogeochemical data could be related to those in till and were therefore assumed to have natural origin.

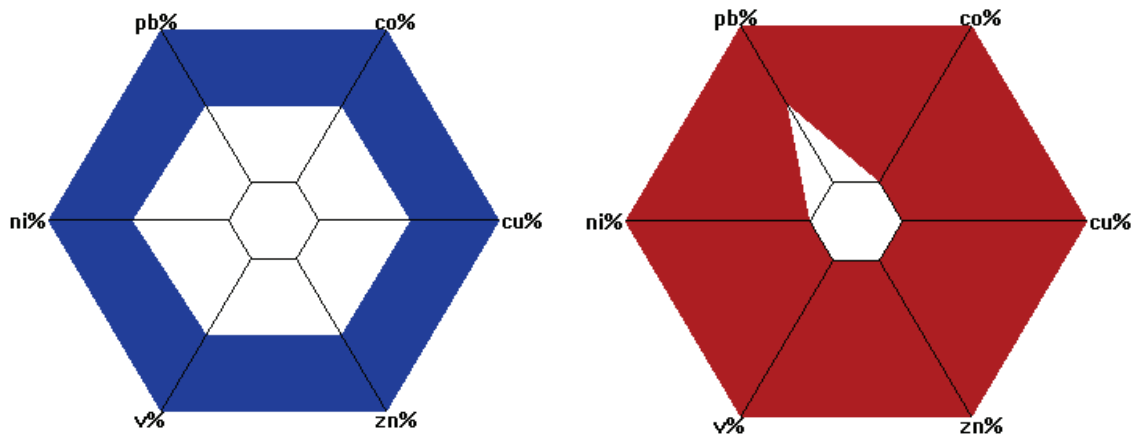
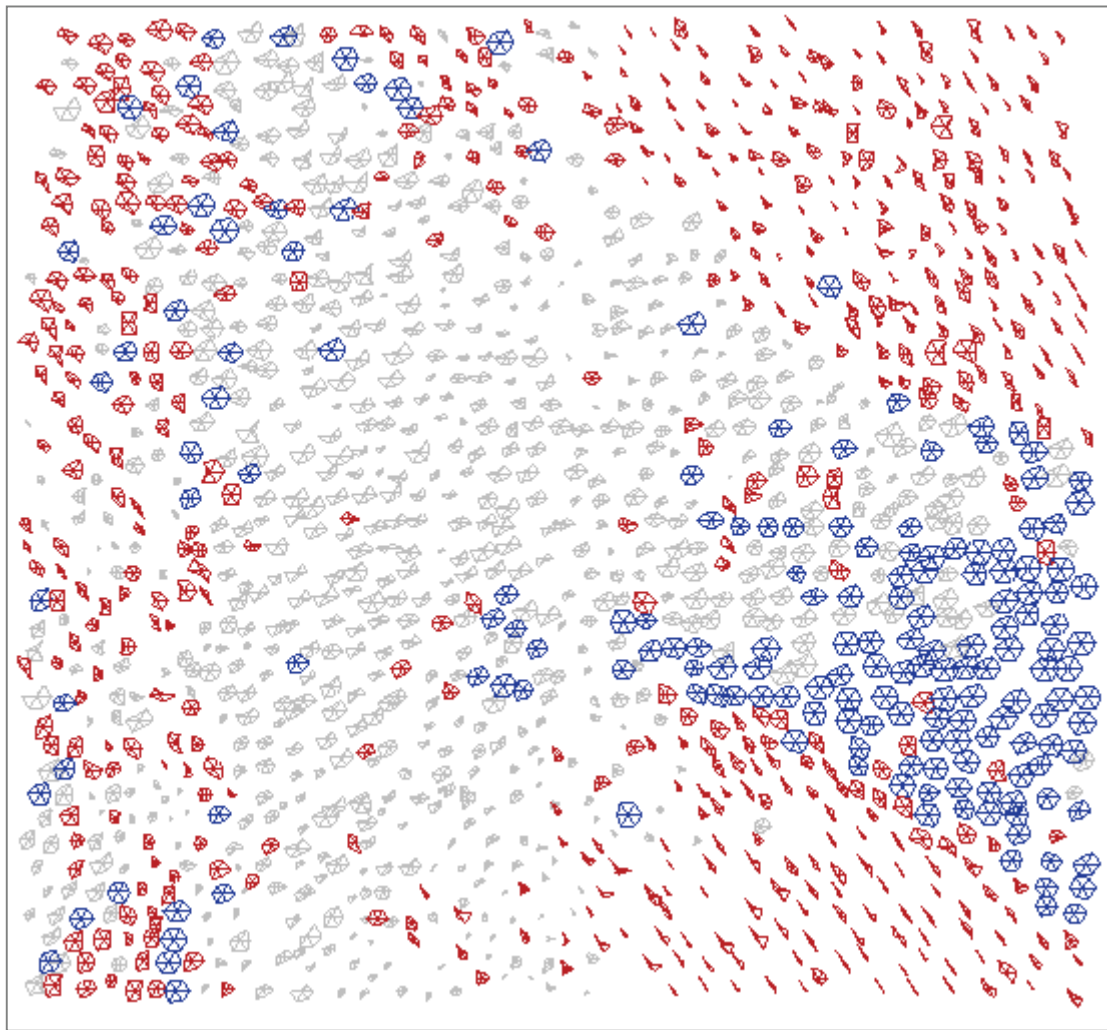


Fig. 1. Star glyph visualization (top) of percentile-converted concentrations of Pb, Co, Cu, Zn, V and Ni in till geochemical data. The study area measures 100 x 100 km. The brush keys (bottom) show the order of elements and visualize the extent of the two brushes. The red brush includes all samples with Pb concentration equal to or higher than the median. The blue brush highlights the samples that also contain concentrations of Co, Cu, Zn, V and Ni over or equal to the median value. The highlighted glyphs suggest that high Pb concentrations in till are related to different multi-element signatures and spatial locations.

Litostratigrafisk indelning av Östersjöns senkvartära avlagringar utanför Skånes sydkust

PER SANDGREN, Lunds universitet

Projektgrupp: Per Sandgren (LU), Kurt Kjær (Geologiska museet, Köpenhamn), Shiyong Yu, (University of Minnesota, Duluth), Ingemar Cato (SGU, Uppsala), Anders Elhammer (SGU, Uppsala).

Syftet med arbetet har varit att baserat på SGUs omfattande borrhörnmaterial av s.k. Vibrocores och hydroakustiska undersökningar inom kartbaden 01C och 01D söder om Skåne:

- upprätta en lokal litostratigrafi över kvartära avlagringar som ligger söder om Skåne,
- knyta samman denna lokala litostratigrafi med den etablerade stratigrafiska indelning och åldersställning som finns upprättad för östra Danmark, för södra och västra Skåne samt för området söder om Arkonabassängen, dvs. tysk ekonomisk zon,
- knyta samman denna lokala bild med SGUs hydroakustiska mätresultat.

Det omfattande borrhörnmaterial som förvaras på SGU i Uppsala inventerades i mars 2002. Totalt 25 borrhörnor med en längd mellan 1 och 5,5 m beskrevs och provtogs för vidare analyser. Sedimenten utgörs huvudsakligen av morän som med åren har blivit fullständigt uttorkat och cementerat. Borrhörnorna delades upp i 10 cm långa prov, vilket resulterade i totalt 396 delprov. Av respektive prov har ett bulkprov analyserats medan återstoden har separerats i fraktionerna <0,063 mm; 0,063–0,5 mm; 0,5–2,0 mm; >2 mm.

1. På samtliga bulkprov och delprov i fraktionen <0,063 mm har kalkhalten och ett antal mineralmagnetiska parametrar bestämts.
2. En grov kornfördelningskurva har erhållits genom uppdelningen i de fyra olika fraktionerna.
3. Fingrusräkning har gjorts på samtliga prov på material 2,8–8,0 mm.

Korrelationen till den etablerade litostratigrafiska indelningen för södra och västra Skåne, bygger på provtagning av två SV-skånska lokaler, där proverna analyseras med samma metodik som proverna från borrhörnmaterial. Från lokalen "Limhamns kalkbrott" har en sekvens med 54 prover analyserats medan 35 prover analyserats från lokalen "Rinnebäcksravinen".

Projektet har resulterat i en mycket stor mängd data som behandlats med multivariatanalys. Utvärdering och sammanställning av dessa resultat pågår. Ambitionen är att ett manuskript med resultaten skall kunna lämnas in för publicering under hösten.

Rekonstruktion och analys av klimatets utveckling i området runt Nordatlanten

JOHAN NYBERG, SGU, Uppsala

Background

Instrumental records and modelling studies demonstrate that the Caribbean/tropical Atlantic is a key area for reconstructing and studying North Atlantic as well as global climate trends and variability. Surface waters that are eventually transported to the regions of deep water formation in the North Atlantic and thus play a critical role in Atlantic and global thermohaline circulation flow through and are preconditioned in the tropical Atlantic and the Caribbean in particular. The tropical ocean is the primary source of energy and water vapour to the atmosphere, and interactions between the ocean and atmosphere in the tropics have global climate ramifications on various time scales. For example, the change during the last decades in the wintertime North Atlantic and European climate is related to a progressive warming of tropical Sea Surface Temperatures (SSTs) and an increase in tropical sea surface salinities (SSSs). The wintertime climate is characterised by a positive polarity of the North Atlantic Oscillation (NAO), which reflects a hemispheric pattern distinguished by decreased (increased) Arctic (middle latitude) sea level pressure.

Instrumental environmental data in the tropics do not normally extend more than approximately 50 years into the past, which implies that longer time-series of climate data, such as SST, SSS, precipitation and trade wind variability are crucial to answer the question whether the observed change in SSTs as well as freshwater and salt budgets is anthropogenic in nature, or within the realm of the natural tropical hydrographic spectrum. In addition, longer time-series of changes in the tropical hydrological cycle, which is a fundamental component of the planetary energy budget, will improve climate models since freshwater budgets cause the greatest differences between climate model estimates of future climate change.

Proxy

Scleractinian corals produce seasonal geochemical records and possess growth-bands that provide a base for absolute chronology. As a result, they offer a unique opportunity to obtain climate records at seasonal/annual resolution in the tropical oceans before instrumental data.

High-resolution records of SST, SSS, precipitation and trade-wind variability are obtained from coral cores of the species *Montastraea faveolata*, retrieved outside southwestern Puerto Rico and Mona Island in the Caribbean. SST and SSS are reconstructed using oxygen isotope ($\delta^{18}\text{O}$) and Sr/Ca-ratios. $\delta^{18}\text{O}$ in corals is a function of SST and ambient seawater whose isotopic signature is controlled by evaporation/precipitation (i.e., salinity) and water mass changes, while Sr/Ca-ratios are a function of SST. The application of paired $\delta^{18}\text{O}$ -Sr/Ca provides thus information on both SST ($\delta^{18}\text{O}$ and Sr/Ca variations) and salinity ($\delta^{18}\text{O}$ variations) changes.

Precipitation and trade wind variability are reconstructed from variations in luminescence intensity in the coral skeleton, which reflect density variations and/or varying amounts of humic acid derived from terrestrial sources.

Ages are determined by band counting and U/Th dates.

Results

Reconstructed records of precipitation and trade wind variability are strongly correlated with solar irradiance back to 1685. Periods of lower rainfall, associated with enhanced windspeed, concur with higher solar radiative output, lower SSTs and higher SSSs in the northeastern Caribbean as well as higher Central England air temperatures. The results suggest that changes in solar irradiance affect the heat transport from low to high latitudes.

Samples representing each of the past eight centuries have been analysed on oxygen isotope and Sr/Ca-ratios. The results are characterised by a trend of decreasing coral $\delta^{18}\text{O}$ from the 12th century to the present.

The -0.58 per mill magnitude of the trend is equivalent to nearly +3 C or -3 psu if interpreted as solely temperature or solely salinity, but the actual changes are likely to be a combination of the two variables and thus much smaller in magnitude. There is no discernible long-term trend in coral Sr/Ca and the mean Sr/Ca has much less variability than observed in the coral $\delta^{18}\text{O}$, indicating that changes in hydrologic balance dominate sea surface temperature changes over the past eight centuries. During the beginning of the Little Ice Age (LIA) (circa 1450–1650), coral $\delta^{18}\text{O}$ values sharply decreased to near modern values while the Sr/Ca values increased. Such a trend is consistent with cooling and/or cooling/drying in this region during the LIA.

A record of Atlantic major hurricane activity back to 1730 have been developed using a new reconstruction technique based on the two principle factors that control major hurricane formation: 1) the magnitudes of the vertical wind shear and, 2) sea-surface temperatures in the tropical and subtropical North Atlantic. The reconstruction correlates significantly with the reliable observation record back to 1944 and reveals five 40- to 60-year periods averaging 3–5 major hurricanes per year and six other 10- to 20-year periods averaging 1.5–2.5 major hurricanes per year. These periods are associated with the Atlantic multi-decadal oscillation. Throughout, a decadal oscillation related to solar irradiance was responsible for enhancing/dampening the number of major hurricanes by 1–2 per year. The past magnitudes of major hurricanes are relevant when improving predictions and assessing the effect of climate change on hurricane activity.

Naturlig arsenik – risker i vår omvärld?

OLLE SELINUS, SGU, Uppsala

Arsenik har under senare år blivit ett hett element internationellt och under det senaste året även i Sverige. Den sannolikt viktigaste källan är de naturliga halterna av arsenik från berggrund och mark som bland annat tar sig uttryck i höga halter av arsenik i grundvatten, brunnar och dricksvatten. Det är välkänt att exponering för arsenik medför i första hand olika former av hudcancer.

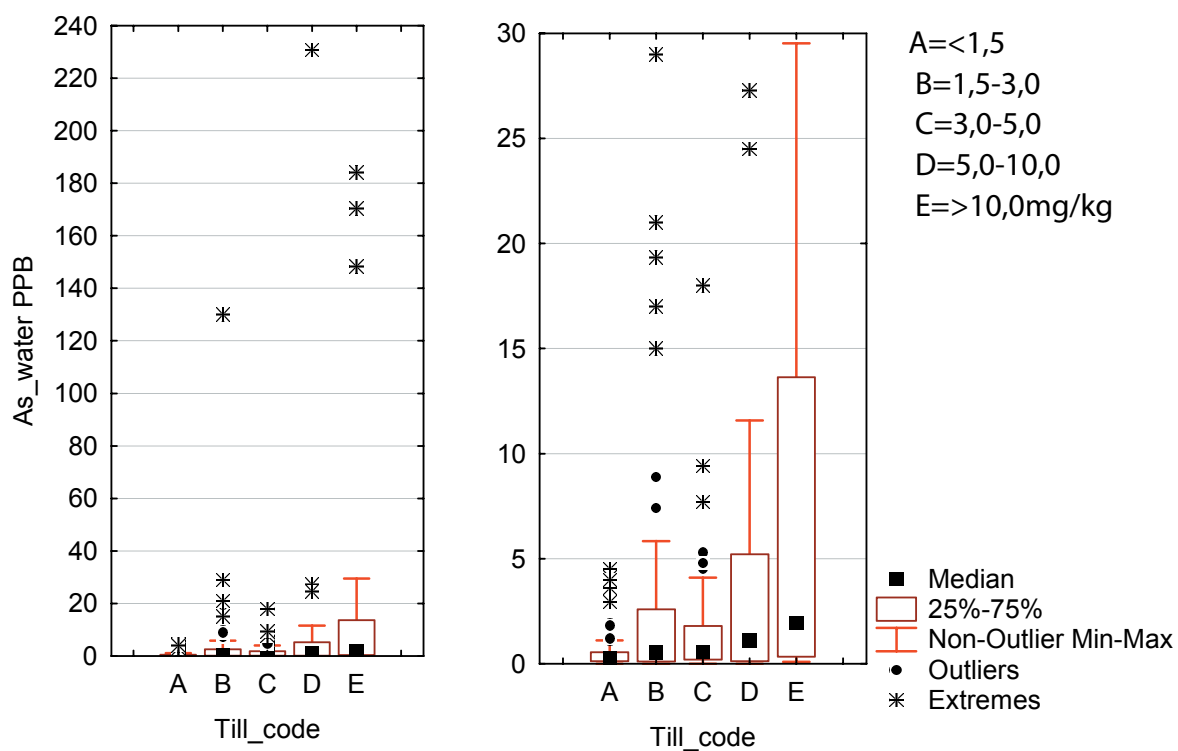
Gränsvärdet för arsenik i dricksvatten baseras på livstidsrisken för cancer. Arsenik kan ge tumörer i hud, lunga och urinblåsa, möjligen även i lever och njure. Risken för negativa hälsoeffekter minskar om exponeringen minskar eller upphör. Det är således önskvärt att begränsa intaget av arsenik så långt det är möjligt. Detta gäller speciellt för barn, eftersom experimentella studier tyder på att foster och små barn kan vara känsligare än vuxna.

I brunnar kan arsenik ibland förekomma i potentiellt hälsovådliga halter. Ibland orsakas detta av föroreningar, men ofta är det fråga om naturliga förekomster av arsenik i berg eller jord. Problemen är vanligare i bergborrhade brunnar än i grävda brunnar. Undersökningar i Finland har visat att det finns ett visst samband mellan områden med förhöjda halter av arsenik i moränen och bergborrhade brunnar med halter över gränsvärdet för dricksvatten (10 mikrogram/liter). Om detta samband gäller även Sverige är oklart. En undersökning 1995 visade dock att vattnet från endast två av 280 undersökta brunnar översteg gränsvärdet. Det dåvarande gränsvärdet var dock 50 mikrogram/liter, ett gränsvärde som nyligen sänktes till 10 mikrogram/liter. Sänkningen av gränsvärdet innebär att problemet är större än vad som tidigare antagits.

Allt oftare kommer larm om arsenik i bland annat brunnar. Som exempel kan nämnas ett larm i Piteå i november 2004. Eftersom SGUs morängeokemi visade att en stor del av kommunen har arsenikhaltig berggrund har kommunen analyserat många brunnar, och det har visat sig att brunnar med alltför höga arsenikhalter inte är ovanliga i kommunen. Det finns således ett stort behov av att snabbt utveckla en metod att utifrån befintliga markgeokemiska databaser på SGU kunna förutsäga sannolikheten för höga naturliga arsenikhalter.

FoU-projektet syftade till att som ett första steg se om befintliga geokemiska databaser kan förutsäga var det kan finnas höga naturliga arsenikhalter i brunnar. Parallellt med detta hölls löpande kontakter med berörda kommuner och myndigheter om höga arsenikhalter.

Förhöjda till höga halter av arsenik i grundvatten återfinns inom vissa områden i Västerbotten, Skelleftefältet, och i östra Mellansverige men även i enstaka brunnar i andra områden. Utanför Skelleftefältet är de flesta förhöjda arsenikhalterna knutna till äldre sedimentbergarter, i huvudsak glimmergnejser, skifferar och gråvackor. På Öland är brunnarna borrhade och ibland sprängda i kalksten. Den underliggande arsenikhaltiga alunskiffern torde orsaka den något förhöjda arsenikhalten i vattnet. Analyser av arsenik i morän från SGUs markgeokemiska kartering visar att förhöjda arsenikhalter förekommer inom samma områden som arsenikhalten i brunnsvattnet är förhöjd. Områdena med förhöjd arsenikhalt i morän tycks vara större i Sverige än i Finland och i flera av dessa områden saknas helt information om arsenikhalter i grundvatten. Främsta orsaken till de förhöjda arsenikhalterna i moränen i södra Örebro län, södra Östergötland, delar av Västergötland och i delar av Jämtlands län är berggrundens innehåll av arsenikhaltig alunskiffer och att skiffer har plockats upp och transporterats vidare av inlandsisen.



Figuren visar arsenikhalter i bergborrade brunnar i relation till arsenikhalt i närmaste moränpunkt. Maximalt avstånd mellan moränprov och brunn är 2 500 m. Ingen hänsyn har tagits till isrörelseriktning. Det framgår av figuren att arsenikhalterna stiger med ökande halt i morän. Det finns således en stor möjlighet att med utgångspunkt från befintliga markgeokemiska databaser kunna förutsäga var områden med förhöjd risk för höga arsenikhalter i brunnar finns, något som även resultat från Finland tidigare indikerat. Hänsyn måste också tas till järnhalter vilket sker i ett pågående projekt.

Karteringsmetodik och metallbelastning – sura sulfatjordar

KAJ LAX, SGU

I Sverige förekommer jordarter som innehåller en relativt hög halt av järnsulfider. Dessa jordarter är i regel finkorniga och har vid SGUs jordartskartering klassats som gyttjehaltiga, dvs. jordar som innehåller organiskt material (*gyttja* >40 %, *lergyttja* 6–40 % och gyttjelera 1–6 %). Järnsulfiderna (mono- eller disulfider, dvs. FeS eller FeS₂) har uppstått under nedbrytning av det organiska materialet, vilket lett till syrefria botenförhållanden.

När dylika, järnsulfidrika jordar oxideras, endera naturligt genom landhöjning eller, mer vanligt, genom utdikning, finns en uppenbar risk för en stark pH-sänkning. Denna pH-sänkning ger upphov till s.k. sura sulfatjordar och medför dels en risk för att surt vatten i ytvattendrag påverkar akvatiska ekosystem negativt, dels att skadliga metaller och andra ämnen mobiliseras. Till de negativa effekterna kan t.ex. räknas skador på fisk eller t.o.m. plötslig massdöd bland fisk.

Den jordartskartering som bedrivits i Sverige har inte varit inriktad mot att kartlägga förekomsten av dylika utbildade sura sulfatjordar (SSJ), eller jordar som under oxidation kan omvandlas till dylika (de senare kan kallas för potentiella sura sulfatjordar, PSSJ). För att konstatera förekomst av befintliga eller potentiella SSJ krävs tilläggsundersökningar eller moment som inte ingår i dagens undersökningsmetodik. Förekomsten av gyttjehaltiga jordar är relativt väl känd, och på basen av denna har Öborn (1989) beräknat att sura sulfatjordar täcker ca 140 000 ha (1 400 km²).

En sur sulfatjord kännetecknas av pH-värden <4. Ofta har järnhydroxider fallts ut i sprickor, och ibland förekommer det metastabila, blekgula mineralet jarosit. En potentiellt sur sulfatjord är dock svårare att identifiera. pH-värdet i en dylik kan i initialskedet vara tämligen högt, och inga järnhydroxider förekommer. En kemisk analys av svavelinnehållet kan indikera att jordarten kan bilda en sur sulfatjord, men detta sker inte alltid. Förekomst av höga halter organiskt material kan motverka försurningen. I Uppland förekommer även finkorniga, svavelhaltiga jordar med varierande innehåll av kalciumkarbonat (CaCO₃). Kalciumkarbonat kan effektivt neutralisera bildad svavelsyra. Det är dock inte helt klarlagt om denna process alltid räcker till.

En metod för att snabbt identifiera såväl befintliga som potentiella SSJ behövs framför allt vid olika byggprojekt. Inom ett projekt undersöktes därför möjligheterna att med enkla fältmetoder (t.ex. pH-mätning) identifiera SSJ. Dessutom utfördes laboratorieförsök för att undersöka de geokemiska egenskaperna hos de insamlade proven.

Provtagningen utfördes i 18 lokaler, och 40 prov klassade som gyttjelera samlades in. Dessutom togs några svämsediment och glacialleror. Resultaten visar att det är svårt att utföra fältbestämningar, speciellt om provet är en potentiell sur sulfatjord uppstår svårigheter. Det säkraste sättet att identifiera SSJ eller PSSJ torde vara att utföra laboratorieundersökningar, även om fältkaraktistika ger en relativt god indikation på utvecklade SSJ.

Laboratorieundersökningarna visade bl.a. att:

- Ett antal prov uppfyller kriterierna för sura sulfatjordar
- Metallhalterna i lakvatten från SSJ är betydande (fig. 1)
- De salpetersyralakbara halterna överstiger det s.k. KM-värdet i >30 % av de analyserade proven

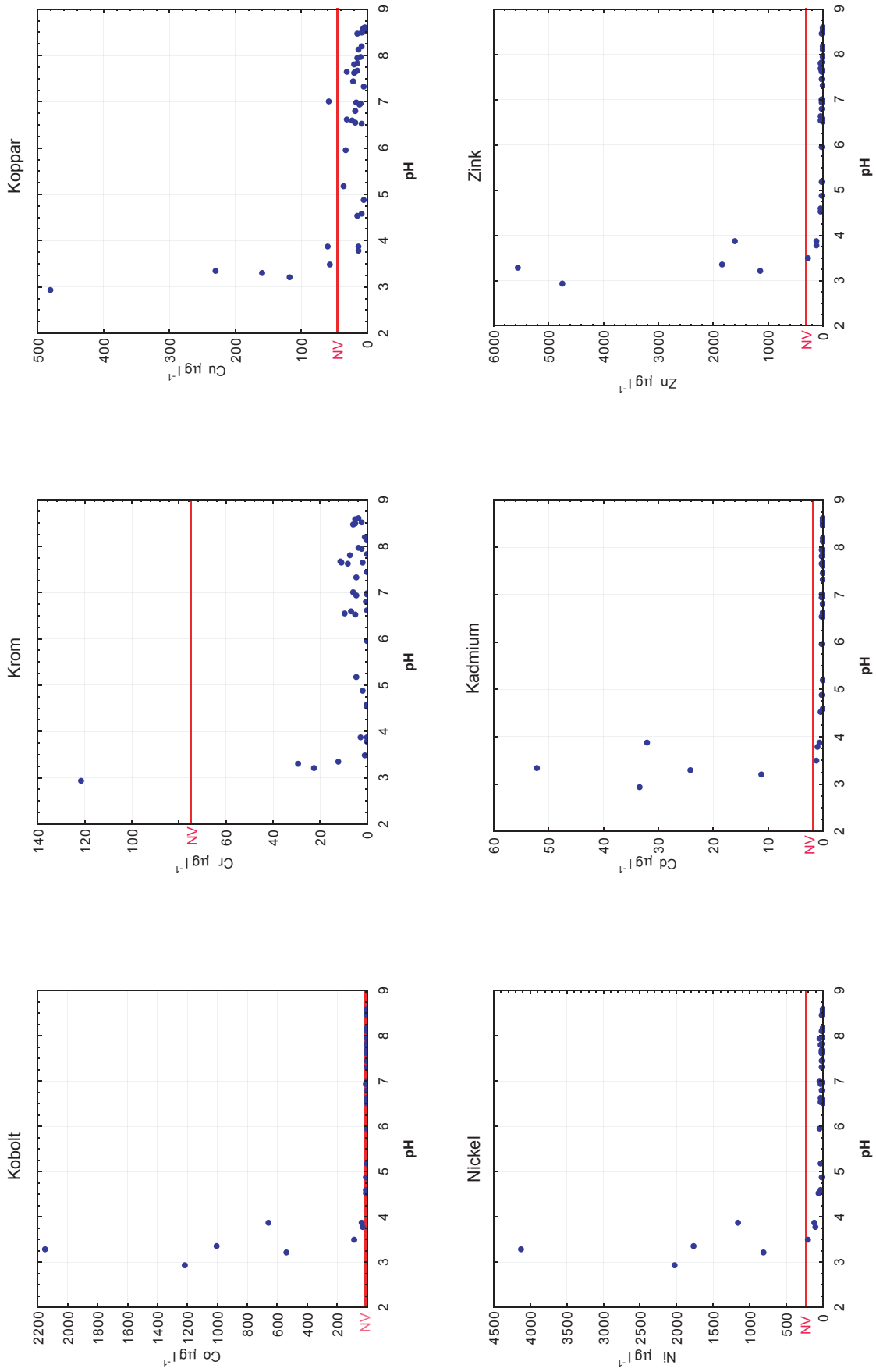


Fig. 1. Metallhalter i lakvatten från analyserade prov. L:S (liquid/solid) = 1:5. NV = Naturvärdsverkets "riktvärden" för halter i förorenat ytvatten.

Geofysiska metoder för att identifiera områden med sulfidhaltiga sediment

GUSTAV SOHLENIUS, MEHRDAD BASTANI & LENA PERSSON, SGU, Uppsala

I både Sverige och Finland finns under den högsta kustlinjen områden med postglacialt avsatta sediment som innehåller sulfidmineral (främst FeS och FeS₂). Exponeras dessa mineral för syre oxiderar de vilket leder till att pH i jorden kraftigt sjunker. Denna oxidation initieras ofta då grundvattenytan sänks, t.ex. vid dikning av jordbruksmark eller byggnationer.

Det har visat sig att dräneringsvattnet i områden med sådana sura jordar uppvisar höga halter av flera tungmetaller (t.ex. Ni, Co och Cd). I Sverige gäller detta främst lerområden belägna i Norrlands kustområden samt i låglänta delar av Mälardalen. De jordar som bildas då sulfiderna oxiderat brukar benämnas sura sulfatjordar. Det finns anledning att befara att bidraget av tungmetaller från sura sulfatjordar lokalt är stort. Dessutom kan ytvatten i vattendrag som dränerar sulfatjordar ha extremt låga pH-värden, vilket i sig medför problem för vissa arter i de akvatiska ekosystemen. Därför är det viktigt att fastställa var geografiskt sura sulfatjordar och sulfidhaltiga sediment förekommer.

SGUs flyg- och markgeofysiska data täcker stora delar av landet och med nya bearbetningsmetoder har det blivit möjligt att kartlägga variationen av elektrisk resistivitet. Sådan data kan användas som värdefull grundinformation för att identifiera områden med sulfidhaltiga leror. I ett tidigare projekt har områden där det troligtvis finns sulfidhaltiga sediment identifierats genom att jämföra resistivitetskarter som tagits fram från flygelektromagnetiska VLF-mätningar med andra geologiska karter. Några områden med misstänkta sulfidjordar har sedan besökts och jordarna har karaktäriserats samt undersökts med markgeofysiska metoder som elektrisk sondering. Det har då kunnat bekräftas att områden med sulfidhaltiga sediment ofta sammanfaller med mycket lågresistiva områden.

Under 2004 och 2005 har flera geoelektriska metoder testats på ett antal platser i Mälardalen, Västerbotten och Norrbotten. På samtliga undersökta platser har tidigare stratigrafiska undersökningar utförts vilka visar på förekomster av sulfidhaltiga sediment.

För att kartlägga resistiviteten i markens ytligaste delar (<30 m) har vi använt fyra olika instrument:

1. **EnviroMT (RMT-metoden)**

Ett radiomagnetotellurik (RMT) instrument som utnyttjar signaler från radiosändare i frekvensområdet 15–250 kHz för att mäta variation av markens elektriska resistivitet. Instrumentet är utvecklat vid Uppsala universitet och har tidigare visat sig användbart vid ytnära undersökningar (Bastani 2001).

2. **Lund Imaging System (DC elektrisk mätning)**

Ett DC (Direct Current) elektriskt instrument där strömmen tillförs marken via elektroder. Ett stort antal elektroder (40–60 st) placeras ut och markens resistivitet registreras sedan automatiskt för olika djup längs med profillinjen.

3. **OhmMapper**

Ett relativt nyutvecklat elektriskt instrument som bygger på att strömmen tillförs marken utan att elektroder behövs. Markens resistivitet kan därigenom registreras kontinuerligt under mätning vilket medför en snabb datainsamling. Tidigare resultat har visat att även detta instrument är användbart vid detaljerad kartläggning av markens resistivitet (Walker & Houser 2002).

4. **Resistivitetssond**

En sond bestående av en elektrisk sensor som registrerar resistiviteten inom ett litet område (några cm). Sonden pressas ned i marken och kan förlängas med hjälp av metallstänger. Instrumentet är utvecklat av Finlands Geologiska Undersökning (GTK) (Puranen m.fl. 1997).

Genom att med flera metoder mäta parallella profiler kan vi skapa en tredimensionell bild av resistiviteten i marken och förhoppningsvis av utbredningen av sulfidhaltiga sediment. I samband med de geofysiska mätningarna skedde även provtagning med borrh. Kärnornas stratigrafi beskrevs vartefter prover togs för att i första hand bestämma svavelhalten.

Figur 1 visar resultat från modellering av OhmMapper data vid en lokal i närheten av Mälaren. Modellen visar tre olika lager markerade med svart streckad linje. Det översta lagret, med en tjocklek av ca 2 m, motsvaras av jord ovanför grundvattenytan. Det mellanliggande lagret med låg resistivitet motsvaras av lera och det understa lagret av morän. Lerlagret uppvisar en varierande mäktighet och resistivitet längs profilen. Inom det mest lågresistiva området (2 Ohmm) i början av profilen (markerat med en vit heldragen linje) har analyser visat att svavelhalten är högre än i den högra delen av profilen. De relativt höga svavelhalterna visar att sedimenten innanför den vita markeringen kan karakteriseras som sulfidhaltiga sediment. Resultaten från OhmMappern stämmer väl överens med resultaten som erhållits från mätningar med resistivitetssond och EnviroMT.

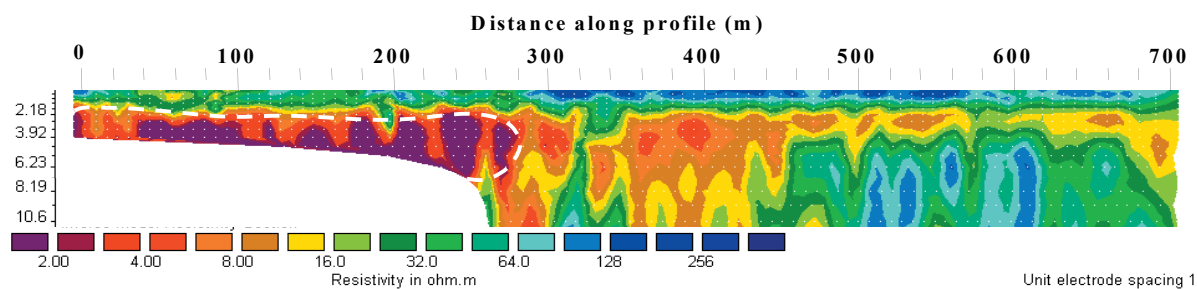


Fig. 1. Resultat från mätning med OhmMapper vid en lokal i närheten av Mälaren (Fiholm).

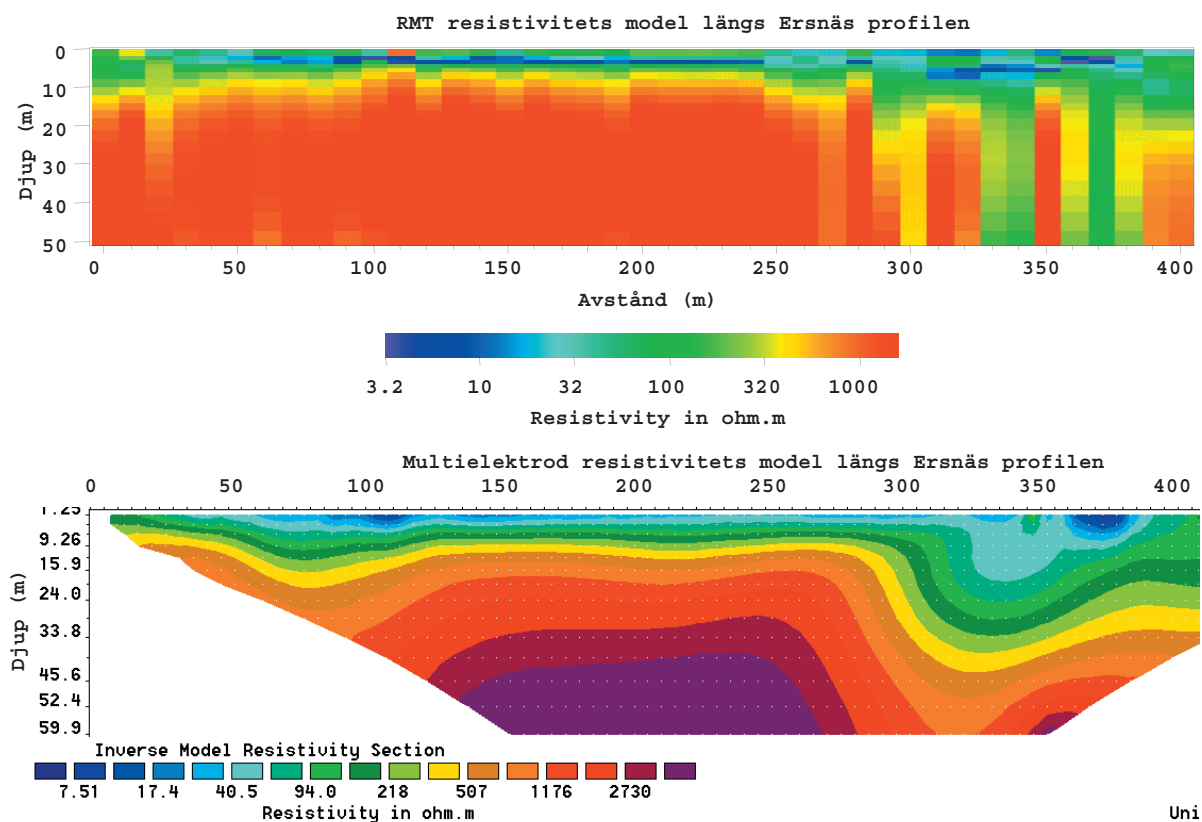


Fig. 2. Resultat från profilmätningar med RMT (överst) och Lund Imaging System (underst). Observera att färgsättningen är omvänd mot de resultat som presenteras från Mälardalen i (se figur 1). Mätningarna har utförts i Ersnäs som ligger mellan Luleå och Piteå.

Utanför Luleå utfördes profilmätningar med EnvitoMT och Lund Imaging System (fig. 2). Modellerna visar en god överensstämmelse. Det lågresistiva lagret ($<10 \Omega\text{m}$, blått i figur 2) motsvarar troligtvis det sulfidhaltiga sedimentet. De sulfidhaltiga jordlagren har dock en något högre resistivitet ($10 \Omega\text{m}$) i jämförelse med motsvarande jordart i Mälardalen ($2 \Omega\text{m}$). Resultaten från mätningarna visar att de lågresistiva lagren har mäktigheter av samma storleksordning som de sulfidhaltiga sediment som dokumenterats vid tidigare stratigrafiska undersökningar på platsen (Fromm 1965).

Resultaten visar att de sulfidhaltiga sedimenten har en lägre elektrisk resistivitet än omkringliggande sulfidfria jordarter. De sulfidhaltiga jordarnas absoluta resistivitet skiljer sig dock mellan de undersökta lokalerna. Orsaken till sulfidjordarnas relativt låga resistivitet är ännu inte helt fastställd. Eftersom dessa sediment oftast är avsatta i bräckt vatten är en tänkbar förklaring en hög kloridhalt i porvattnet.

De geoelektriska metoder som använts inom denna undersökning kan nyttjas för att avgränsa sulfidhaltiga jordars utbredning på ytan och djupet. Förekomsten av sulfidhaltiga sediment på en viss plats måste dock alltid bekräftas med stratigrafiska undersökningar samt med analyser av svavel.

Referenser

- Fromm, E., 1965: Beskrivning till jordartskartan över Norrbottens län nedanför lappmarksgränsen. *Sveriges geologiska undersökning Ca 39*, 236 s.
- Bastani, M., 2001: EnviroMT – a New Controlled Source/Radio Magnetotelluric System. Acta Universitatis Upsaliensis. *Uppsala Dissertations from the faculty of Science and Technology 32*. ISBN 91-554-5051-2.
- Puranen, R., Mälilä, M., Sulkanen, K. & Grundström, A., 1997: A new apparatus for electric conductivity and temperature logging of soft sediments. *Geological Survey of Finland, Special Paper 23*, 149–155.
- Walker, J., & Houser, P. R., 2002. Evaluation of the OhmMapper instrument for soil moisture measurement. *Soil Science Society of America Journal 66*, 728–724.

Karakterisering av grundvattenförekomster

LARS-OVE LÅNG, MAGNUS ÅSMAN, JENNY MCCARTHY, JONAS GIERUP, LENA OJALA & LARS RODHE, SGU, Uppsala

Bakgrund och syfte

Behovet av att beskriva landets tillgångar på grundvatten och dess kvalitet har satts i fokus under senare tid. Huvudorsakerna är införandet av EG:s Ramdirektiv för vatten, de nationella miljökvalitetsmålen samt utvecklingen av miljöövervakningen. SGUs systematiska kartläggning av grundvatten utgör basen i detta arbete. Det krävs dock kompletterande informationsinnehåll, förändrade presentationssätt samt utveckling av samverkansformer med främst de nya vattenmyndigheterna och länsstyrelserna för att de nya arbetsuppgifterna ska kunna genomföras effektivt. Detta projekt har tagit fram förslag för att komplettera den befintliga grundvattenkarteringen vid SGU för att möta dessa nya behov. Resultaten omfattar A) förslag på innehåll i ny datamodell för grundvattenkarteringen, B) identifiering av vilka kompletteringar som krävs i förhållande till ingående moment i nuvarande kartläggning, samt C) texter till kvalitetsdokument så att förändringarna snarast kan integreras i SGUs karteringsverksamhet.

Genomförande

Arbetet inom projektet har genomförts i följande steg:

- Den befintliga metodiken och datamodellen som använts vid grundvattenkartering vid SGU i lokal skala jämfördes med behovet för genomförandet av EG:s Ramdirektiv för vatten.
- Ett första förslag på ny datamodell presenterades.
- Datamodellen testades samt demonstrerades för deltagare i SGU hydrogeologiska karteringsverksamhet. Ett antal förslag till förbättringar medförde modifieringar av datamodellen.
- En inmatningsapplikation för den nya datamodellen skapades samt en sammanfattande beskrivning framställdes till denna. Ingår i beskrivningen gör också jämförelser med den hittills använda modellen vid SGU vid grundvattenkartläggning i lokal skala.
- Förslag på nya dokument till SGU kvalitetssystem presenterades avseende avgränsning av grundvattenmagasin samt tillrinningsområden, grundvattenbildning, uttagkapacitet och hydraulisk konduktivitet.
- Den nya datamodellen sammanfattades i en artikel "Methods for the characterisation of ground-water bodies in Sweden for implementation of the WFD" för presentation vid NORDIC WATER 2006 – Nordic Hydrological Conference, Vingsted Denmark, 6–9 August 2006.

Resultat

A. Innehåll i ny datamodell (se fig. 1)

En grundläggande förändring är att data ska beskrivas och presenteras för varje enskilt grundvattenmagasin. Avgränsningen och karakteriseringen av själva grundvattenmagasinet utgör basen i den föreslagna datamodellen som nu antagits av programmet "Karteringsprocesser vid SGU". Den nya datamodellen innebär att data som samlas in vid lokal hydrogeologisk kartering lagras i fem separata skikt:

- **Grundvattenmagasin.** Egenskaper som är gemensamma för hela magasinet som t.ex. grundvattenbildning och medelmäktighet på den mättade zonen.
- **Tillrinningsområde.** En indelning föreslås i tre typer av delytor baserat på hur dräneringen av yt- och grundvatten sker, eller kan antas ske, inom ett till grundvattenmagasinet avgränsat tillrinningsområde.
- **Anslutna ytvattensystem.** De grundvattenförekomster som har direkt beroende ytvattensystem eller terrestra ekosystem ska enligt ramdirektivet identifieras. Även platser där utbytet mellan grundvatten och ytvatten kan påverka kvaliteten på grundvattnet eller vice versa ska identifieras. Gränser till sådana anslutande ytvattensystem kan anges i datamodellen som en punkt, linje eller yta (utströmningsområdet med mer eller mindre tydliga källflöden).

- **Delområden till magasinet.** Variationer i grundvattenmagasinets uppbyggnad och sammansättning etc. kan vara så stora att uttagskapaciteten inom skilda delar av magasinet bedöms vara olika, sett till uppsatta kapacitetsintervall. I sådana fall uppdelas grundvattenmagasinet i olika delområden.
- **Tätskikt.** Områden där grundvattenmagasinet täcks av täta lager, t. ex. finkorniga sediment, markeras. Även områden där slutna eller öppna förhållanden råder avgränsas.

B. Kompletteringar mot nuvarande kartläggning

Den nya datamodellen vid grundvattenkartering innebär förändringar både vad gäller insamling, bearbetning och lagring av uppgifter. De enskilt största förändringarna som fått stora konsekvenser för karteringsmetodik, inmatningsrutiner och datalagringstrukturen är:

- Avgränsning av hela magasin istället för delytor med olika bedömda uttagsmöjligheter. Detta har medfört en tydlig uppdelning i grundvattenbildning för magasinet och uttagsmöjligheter. Avgränsningen av hela magasin har även inneburit att nödvändiga definitioner på termer och begrepp har tagits fram samt att striktare regler för hur grundvattendelare ska markeras angetts.
- Det område i vilket grundvattenbildning till magasinet sker ska avgränsas och anslutna ytvattensystem ska identifieras. Dessa två förändringar har inneburit att betydligt större fokus än tidigare måste läggas på att kartlägga ytvattnets dräneringsmönster.

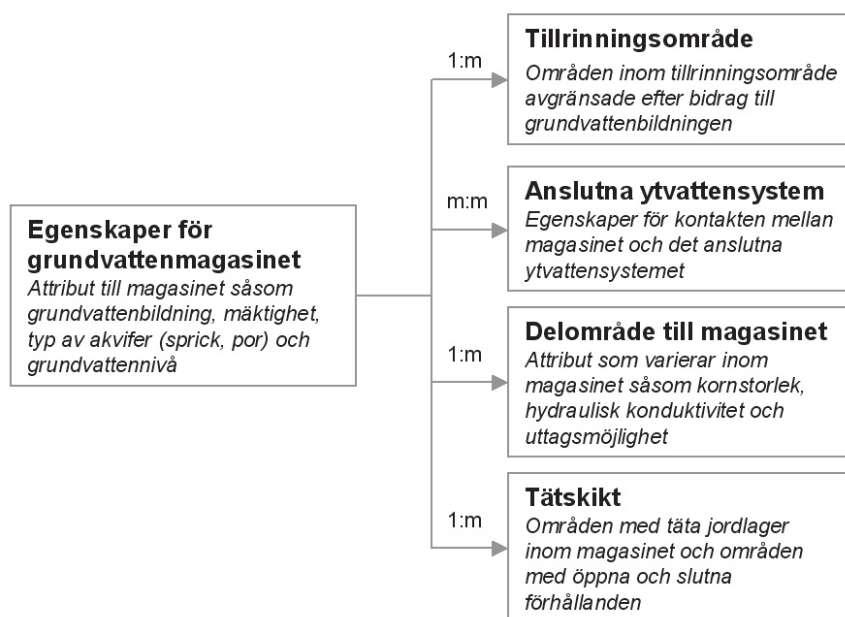


Fig. 1. Översiktlig bild av den nya datamodellen som visar relationen mellan magasinets egenskaper och de fyra övriga attributtabellerna.

C. Förslag på kvalitetsdokument

För att tydliggöra och styra upp verksamheten avseende definitioner och attribut till den nya datamodellen lades förslag till ett antal kvalitetsdokument fram inom projektet. Av dessa har två antagits av programmet "Karteringsprocesser vid SGU" för att ingå i den ordinarie hydrogeologiska karteringsverksamheten:

- 1) "Kriterier och riktlinjer för avgränsning av grundvattenmagasin".
- 2) "Tillrinningsområden, grundvattenbildning, uttagskapacitet och hydraulisk konduktivitet".

Metod för anpassning av vattendelare med hänsyn taget till grundvattnets strömning

LENA OJALA & MAGNUS ÅSMAN, SGU

Under i huvudsak 2005 har en arbetsgrupp med representanter från SMHI och SGU arbetat med att ta fram en metod för bestämning av vattendelare och hydrologisk områdesindelning utifrån yt- och grundvattnets strömningsbild. Metoden ska kunna tillämpas för anpassning av befintliga avrinningsområdesgränser samt för avgränsning av en användares egendefinierade avrinnings- och tillrinningsområden för såväl yt- som grundvattenförekomster. Arbetet har finansierats genom interna medel på SMHI och interna FoU-medel på SGU. Inom projektet har fokus legat på betydande grundvattenförekomster i jord.

Inrättandet av de vattenrelaterade miljö kvalitetsmålen och införandet av EGs Ramdirektiv för vatten innebär ett ökat behov av en bättre beskrivning av vattnets flöde i Sverige. Kommuner, flera centrala och regionala myndigheter samt konsulter har behov av och skulle nyttja en förbättrad information om vattendelare. Direkta avnämare av en generell metod för och förbättrad information om vattendelare är SGUs grundvattenkartering och SMHI i sitt arbete med avrinningsområden. I arbete med de vattenrelaterade miljö kvalitetsmålen kan informationen främst användas vid utvärderingar och sammanställningar. Inom arbete med vattendirektivet på vattenmyndigheter och länsstyrelser finns direkta krav på information vid moment som karakterisering, riskbedömning, övervakning och statusbedömning. Genom att använda vattendelare som representerar både ytvattnets och grundvattnets strömning ökar möjligheterna till bättre beslut och val av relevanta åtgärder. Metoden bör leda till att skyddet för yt- och grundvatten generellt sett stärks och att ett jämförbart underlag ges.

Adresser till externa föredragshållare:

Kaj Ahlbom, SKB, Box 5864, 102 40 Stockholm

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

Katrin Grunfeld, Kungliga tekniska högskolan, Institutionen för mark och vattenteknik, 100 44 Stockholm

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

Sven Åke Larson, Göteborgs universitet, Geovetarcentrum, Box 460, 405 30 Göteborg

Per-Arne Lindqvist, Luleå tekniska universitet, Institutionen för samhällsbyggnad, 971 87 Luleå

Bo Olofsson, Kungliga tekniska högskolan, Institutionen för mark och vattenteknik, 100 44 Stockholm

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

Karl-Inge Åhäll, Karlstads universitet, Geovetenskap, 651 88 Karlstad

Adresser till SGUs föredragshållare:

Mehrdad Bastani, Kaj Lax, Sven Lundqvist, Johan Nyberg, Lars Persson, Olle Selinus, Gustav Sohlenius och Magnus Åsman: Box 670, 751 28 Uppsala

Lars-Ove Lång, Guldhedsgatan 5 A, 413 20 Göteborg

Leif Andersson, Mikael Erlström och Ulf Sivhed: Kiliansgatan 10, 223 50 Lund