



Sveriges Geologiska Undersökning

FoU-seminarium vid SGU

11–12 mars 2003

Dokumentation

FoU-seminarium vid SGU 11–12 mars 2003 – dokumentation

SGU-rapport
2003:4

SGU-rapport
2003:4

FoU-seminarium vid SGU 11–12 mars 2003

Dokumentation

Sveriges geologiska undersökning
Forskning och Utveckling

SGU-rapport 2003:4

Som en del av redovisning från SGUs forsknings- och utvecklingsarbeten presenteras projekt och resultat varje år under två seminariedagar i Uppsala. Den här nu föreliggande dokumentationen är en sammanställning av "abstracts" från projekt presenterade vid 2003 års seminariedagar.

Forsknings- och utvecklingsverksamheten vid SGU har som främsta uppgift att ta fram, utveckla och införa ny kunskap och nya arbetsmetoder av värde för SGU. Verksamheten skall alltid även direkt eller i sin förlängning vara samhällsnyttig.

Stor vikt skall också läggas på tvärvetenskaplig forskning, vilken kan erbjuda nya infallsvinklar och ge möjligheter till tillämpning av nya metoder och system vid användningen av geovetenskaplig information. Vidare skall verksamheten aktivt bidra till långsiktiga kompetensuppbyggnad av SGUs personal, genom inskolning och träning av yngre forskare.

Verksamheten bedrivs av flera skilda delar; dels som ett stöd till geovetenskaplig forskning vid svenska universitet och högskolor och dels i form av avgränsade projekt inom SGUs ordinarie verksamhet. I det senare fallet genomförs arbetet huvudsakligen av SGUs egen personal och inom myndighetens ordinarie budgetramar.

Stödet till geovetenskaplig forskning vid universitet och högskolor genomförs sedan budgetåret 1990/91 genom ett särskilt årligt statsanslag på ca 5 miljoner kronor. Medlen fördelas efter vetenskaplig bedömning av en av SGU utsedd samrådsgrupp, samt efter intern bedömning av projektens direkta relevans för SGUs verksamhet. Dessa projekt bör koncentrera sig på för samhället viktiga geologiska problemställningar och därvid komplettera SGUs egen forskning och utveckling.

Anslaget utgör en viktig möjlighet för SGU att för sin egen verksamhet utnyttja den höga kompetens och den moderna instrumentering som redan finns vid svenska universitet och högskolor.

SGU genomför regelbundet en internationell utvärdering av Stödet till Geovetenskaplig Forskning. Under 2003 sker en sådan varvid de nu redovisade projektresultaten skall utvärderas av tre utomstående experter, liksom ett stort antal tidigare redovisade forskningsprojekt.

Den av SGU egenfinansierade forsknings- och utvecklingsverksamheten har bedrivits sedan budgetåret 1989/90 inom ett särskilt program och omfattar i dag ca 7 miljoner kronor per år. Verksamheten bedrivs i projektform, efter ansökan från enskilda medarbetare och bedömning av en forskningsgrupp bestående av fackheternas enhetschefer. 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 insamlingsverksamhet. I några fall genomförs även en långsiktig satsning på frontforskning, där unik kompetens finns inom SGU. Ett sådant fall har varit vittring av mineral och mineraljord.

Uppsala 2003-04-11

Naz Ahmed Shaikh

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 11 mars 2003

Ordförande: Olle Selinus

- | | |
|-------------|---|
| 09.00–09.15 | ÖPPNING
GD Lars Ljung, SGU |
| 09.15–09.40 | Organiska tennföreningar i sediment
Ingemar Cato, SGU |
| 09.40–10.05 | Block- och stenhalter i morän
Tore Påsse, SGU |
| 10.05–10.30 | Kvantitativa bestämningar av mineral i svenska leror
Sven Snäll, SGU |
| 10.30–10.45 | KAFFE |
| 10.45–11.10 | Databas för grundvattenmodellering baserad på hydrogeologiska miljöer.
Roger Thunvik & Riitta Lindström, Kungliga Tekniska Högskolan |
| 11.10–11.35 | Uran, radium och radon i brunnsvatten
Britt-Mari Ek, SGU |
| 11.35–12.00 | Microbial Arsenate Mobilization from Mine Tailings Under Microaerophilic Conditions
Jouanto Routh & Ambujom Saraswathy, Stockholms universitet |
| 12.00–13.00 | LUNCH |

Ordförande: Dag Fredriksson

- | | |
|-------------|--|
| 13.00–13.25 | Växtrötters förmåga att påverka geokemin för att frigöra tungmetaller i mark
Maria Greger, Stockholms universitet |
| 13.25–13.50 | Etablering av databas innehållande isrörelsedata från inlandsismodell – ett nytt verktyg för studier av glacialgeologi
Jens-Ove Näslund, Stockholms universitet |
| 13.50–14.15 | Utvärdering och utveckling av Grundvattennätets nivådata
Magdalena Thorsbrink & Bo Thunholm, SGU |
| 14.15–14.30 | KAFFE |
| 14.30–14.55 | Metoder för publicering av data på internet
Johannes Tyve, SGU |
| 14.55–15.15 | DISKUSSION |

Onsdag 12 mars 2003

Ordförande: Naz Ahmed Shaikh

- 09.00–09.25 Analys av de svenska granitoidernas petrofysiska och naturliga strålningsegenskaper.
Ildiko Antal , SGU
- 9.25–10.15 Regional stratigraphy, basin evolution and the setting of stratabound Zn-Pb-Cu-Ag-Au
deposits in Bergslagen, Sweden
Rodney Allen, Luleå tekniska universitet
- 10.15–10.30 KAFFE
- 10.30–10.55 The timing and mechanisms of epigenetic ore forming processes in the Norrbotten
County
Kjell Billström, Naturhistoriska riksmuseet & Olof Martinsson, Luleå tekniska
universitet
- 10.55–11.20 Studies of Proterozoic mafic layered intrusions in Central Sweden – with special
emphasis on internal structures, magmatic differentiation and mineralizations
Sven Åke Larson & Fredrik Hellström, Göteborgs universitet
- 11.20–11.45 The boundary zone between SW- and SE Sweden south of Lake Vättern: New insight
and implications for applied geology
Roland Gorbatshev & Svetlana Bogdanova, Lunds universitet
- 11.45–12.45 LUNCH
- 12.45–13.10 Svecofennian sedimentary record of Northern Sweden
Risto Kumpulainen, Stockholms universitet
- 13.10–13.35 Interorogen magmatism i Göteborgsområdet och dess geodynamiska signifikans.
Karl-Inge Åhäll, Karlstads universitet
- 13.35–13.50 Kaffe
- 13.50–14.15 Rocknebystrukturen norr om Kalmar
Åke Bruun & Lars Karis, SGU
- 14.15–14.40 Deformationens inverkan på bergmaterialsegenskaper
Lars Persson, SGU
- 14.40–15.01 DISKUSSION

Organotin compounds in Swedish sediments – an overlooked environmental problem

INGEMAR CATO, Sveriges geologiska undersökning
ingemar.cato@sgu.se

Organotin compounds (mainly tributyltin, TBT) have been used as a toxicant in antifouling paints since the 1960's and application on commercial vessels, pleasure-boats, marine constructions and marine equipments has spread the compound widely in the marine environment. These compounds has been characterized as one of the most toxic substances emitted to the environment (Müller et al. 1989, Stewart et al. 1992). Originally, TBT was developed in an attempt to tackle the parasitic disease *bilharzia* (schistosomiasis, or "snail-fever") among human populations in the tropics. In this situation it was used on a trial basis to control the snails that act as the parasite's intermediate host. It has subsequently emerged that this compound, even in extremely low concentrations, is also harmful to marine life, e.g. gastropods and molluscs and the degradation products, monobutyltin (MBT) and dibutyltin (DBT), has been found in mammals, e.g. in livers of stranded dolphins (Kannan et al. 1997).

TBT acts as an endocrine disruptor. The inhibition of aromatase enzyme responsible for the conversion of the male hormone *testosterone* to the female hormone *oestrogen* and the impediment of the elimination of testosterone by excretion results in anomalous development of females (e.g. imposex, intersex) and reductions in the reproductive capacity of the organisms. These effects are due to the built up of abnormally high levels of testosterone in the females (among others, Matthiessen & Gibbs 1998, Bernes 2000, Smedes et al. 2000, OSPAR/SIME 02/06/1).

As a consequence of this serious toxic effect the use of TBT-based paints on small boats (<25 m) and aquaculture has been prohibited in many countries since the mid 1980's (in Sweden since 1996). However, still it is permitted and used on large vessels. On average a large vessel, painted with TBT-based antifouling paints, releases 67 g TBT/24 hours (Qvarfort 2003). The International Maritime Organisation (IMO) recently resolved that organotin compounds should be eliminated from the hulls of large vessels within the next decade. This will not immediately remove the compounds from the marine environment as these compounds are strongly adsorbed to the suspended particulate matter in the aquatic phase and on the sea bed. The release of TBT and its degradation products from contaminated sediments represent an important source of contamination to marine life. The 1993 Quality Status report for the North Sea, produced by the Oslo and Paris Commission (OSPAR), identified TBT as a particularly important target compound for monitoring and assessment activities (OSPAR/ICES 1993). The lack of data regarding organotin compounds in sediments from Swedish marine waters was the initiating signal to this project started in 2002. The project is granted and supported by the Geological Survey of Sweden (SGU).

Methods

About 50 frozen and stored surface sediment samples (0–2 cm) and about 50 samples taken in 2002 were analysed for concentrations of ten organotin compounds (Table 1). The sediment samples were collected using both a box-corer (Jonasson & Olausson 1966) and a Gemini-corer during various cruises with S/V Ocean Surveyor (belonging to the Geological Survey of Sweden) between 1990 and 2002. The samples were pre-treated and cleaned-up according to Smedes (2000) and the concentrations were determined by interfacing high performance liquid chromatography (HPLC) with inductive coupled plasma technique (ICP-MS).

Results and discussion

In Table 1 the observed range of ten organotin compounds are given. Monoctyltin, dioctyltin and tricyclohexyltin could not be detected in the 93 samples studied. Tetrabutyltin, mono-, di- and

triphenyltin were in general below the detection limit, but in some coastal sites and harbours low or intermediate concentrations were found. Mono-, di- and tributyltin were found in most samples. The range varies from <1 µg/kg dry matter to remarkable high 1 400 µg/kg dry matter. The highest concentrations were found in harbours and off shipyards (e.g. Trelleborg, Göteborg and Uddevalla) but also off yards for pleasure-boats (e.g. Studseröd in the Saltkällefjorden about 30 km north-east of Lysekil). Intermediate concentrations were found in marinas, naval bases and in the product harbour of the oil refinery Scanraff in the Brofjorden (Table 2, Fig. 1).

Except these spots mentioned above, elevated butyltin concentrations were found in the sediments of the archipelagos of Stockholm and the Bohus Coast (Table 2). Here shipping lanes and areas frequently used by pleasure boats are more contaminated than other areas. The concentrations in the open coastal areas of the Kattegat and the SW Baltic Sea were in general found to be low.

Compared with TBT-data reported from other countries the studied Swedish harbours and marinas seem to be as contaminated as the marinas in UK and far above the levels reported from the Rotterdam harbour (Table 2).

The present investigation has highlighted a serious and overlooked problem in Swedish marine waters. The results show that in particular the studied harbours and marinas are highly contaminated with TBT and its degradation products (DBT and MBT). If this is valid for all other harbours and marinas along the Swedish coast these spots have to be regarded as important potential point sources of contamination to marine life for several decades ahead. The sediment in harbours and marinas are continuously re-suspended by the activity of propellers and the pressure wave created by vessels and boats under way. This results in a continuously and unwanted dispersion of these highly toxic compounds to areas outside harbours and marinas. It is not within the scope of this paper to judge what effects this will have on the marine ecosystem in the long run. Nevertheless it can be stated as a serious problem, which prolong the effects of these substances, despite the use of them has been restricted.

The results show the need and importance of a systematic investigation and risk classification of all harbours, marinas, boat- and shipyards in Sweden with respect to organotin compounds. Such an investigation must also include the storage-yard for pleasure-boats. It can not be ruled out that several of these areas have to be decontaminated.

References

- Bernes, C., 2000: *Persistent organic pollutants*. Swedish Environmental Protection Agency, 202 p. Stockholm.
- Cato, I., Gönczi, M., Jonsson, P., Persson, J. & Sandkvist, Å., 2002: Sedimentundersökningar i Muskö- och Hårsfjärdsområdet. *SGU-rapport 2002:16*, 67 p.
- Jacobsen, J.A., 1998: *Organotin speciation in sediments: Dyrön, Rönnäng and Åstol*. National Environmental research Institute of Denmark. Laboratory Report, 3 p.
- Kannan, K., Senthilkumar, B., Longanthan, S., Takahashi, D.K. Odell & Tanabe, S., 1997: Elevated accumulation of tributyltin and its breakdown products in bottlenose dolphine (*Tursiops truncatus*) found stranded along the U.S. Atlantic and Gulf coasts. *Environ Sci. Technol.*, 31, 296–301.
- Matthiessen, P & Gibbs, P.E., 1998: Critical appraisal of the evidence for tributyltin-mediated endocrine disruption in mollusks. *Environ. Toxicol. Chem.* 17, 37–43.
- Müller, M.D., Renberg, L. & Rippen, G., 1989: Tributyltin in the environment – sources, fate and determination: an assessment of present status and research needs. *Chemosphere* 18, 2015–2042.
- OSPAR/COM, 2000: *North Sea Quality Status Report 2000, Region II – Greater North Sea*. OSPAR Commission, London. 136 + xiii pp.
- OSPAR/ICES, 1993: *North Sea Quality Status Report*. Oslo and Paris commissions, London. 108 + vii pp.
- OSPAR/MON, 2001: Document Mon 01/04/x.
- Qvarfort, U. (red.), 2003: *Undersökningar vid Musköbasen, Mälbyfjärden, Märsgarn/Vitsgarn, Bergal Vitså samt Gälö*. Unpublished report FOI NBC skydd, 26 p.

- Smedes, F., de Jong, A.S. & Davies, I.M., 2000: Determination of (mono-, di- and) tributyltin in sediments. *Analytical methods. J. Environ. Monit.*, 2 541–549.
- Stewart, C., de Mora, S.J., Jones, M.R.L. & Miller, M.C., 1992: Imposen in New Zealand neogastropods. *Mar. Pollut. Bull.* 4, 204–209.
- Thomas, K.V., Blake, S.J. & Waldock, M.J., 2000: Antifouling paint booster bicide contamination in UK marine sediments. *Mar. Pollut. Bull.* 40, 739–745.

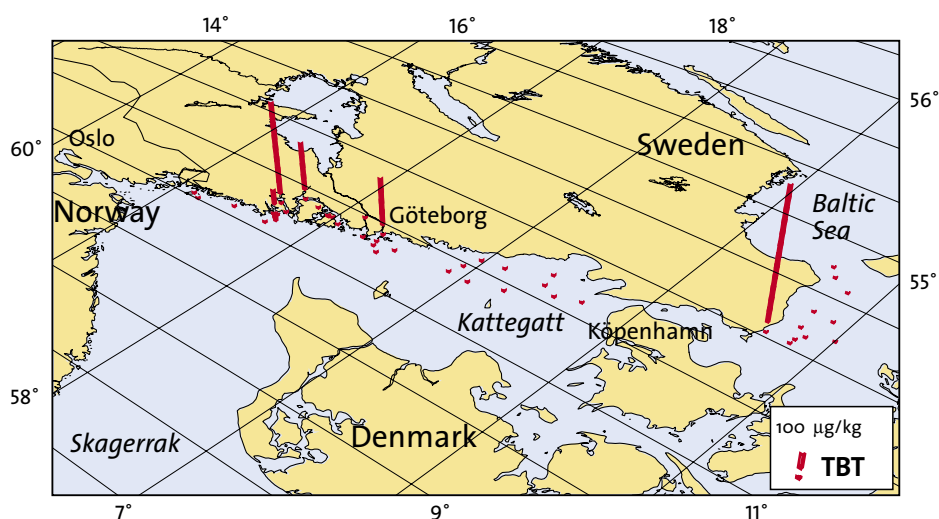


Figure 1. The distribution of tributyltin (TBT) in the surficial sediments of the Skagerrak, the Kattegat and the SW Baltic Sea.

Table 1. Range of investigated organotin compounds in surface sediments within Swedish territorial waters and Exclusive Economical Zone in the Skagerrak, the Kattegat and the Baltic Sea. Number of samples = 93.

Organotin compound	Abbreviation	Observed range µg/kg dry weight
Monobutyltin	MBT	<1–50
Dibutyltin	DBT	<1–210
Tributyltin	TBT	<1–1 400
Tetrabutyltin	TeBT	<1–17
Monooctyltin	MOcT	<1
Diocetyl	DOcT	<1
Tricyclohexyltin	TCHxT	<1
Monophenyltin	MPhT	<1–7
Diphenyltin	DPhT	<1–14
Triphenyltin	TPhT	<1–72

Table 2. Concentrations of tributyltin (TBT) in surficial sediments (0–2 cm) of coastal waters, harbours and marinas.

Area	Number of sites	TBT µg/kg dry weight	Reference
Bohus Coast, Skagerrak	21	1–86	OSPAR / MON 2001
Halland Coast, Kattegat Sounds	11	<1–11	
South Coast, SW Baltic Sea	10	<1–25	
Stockholms Arcepilago	42	<1–99	Jacobsen 1998
Rönnäng marina	1	69	
Dyrön marina	1	150	OSPAR / COM 2000
Åstol marina	1	350	
Berga naval base	4	<1–76	
Muskö naval base	1	20–220	
Scanraff product-harbour, Brofjorden	2	160–230	
Göteborg harbour	1	540	
Uddevalla, Byfjorden	1	550	
Studseröd, Saltkällefjorden	1	1 000	
Trelleborg harbour	1	1 400	
Rotterdam harbour	50–70	50–70	
Western Scheldt, Holland	3,6–46	3,6–46	OSPAR / COM 2000
Belgien shelf	–81	–81	
Open North Sea	<1–2	<1–2	Thomas et al. 2000
Irish Sea	<1–2	<1–2	
Norway, coast and harbours	10–1 000	10–1 000	OSPAR / COM 2000
Southampton estuary	50–540	50–540	
Southampton, marinas	50–5 800	50–5 800	

Methods for estimating total grain size distribution in till

TORÉ PÅSSE, Sveriges geologiska undersökning
tore.passe@sgu.se

Two methods for estimating stone and boulder content in till are presented in this paper. The first method is based on weighing all single particles >20 mm in large samples, where the recorded weights are transformed into nominal grain size diameters. This method gives very detailed estimations of total grain size distributions in combination by a numerical method for interpreting grain size distributions earlier presented by Påsse (1996, 1997). The other method is a fast method for credible approximations of the proportion between coarse and fine material in till, which is based on the results received by the single particle weighing method.

The reason why estimations of stone and boulder contents seldom are done is an unnecessary focusing on the fact that the coarsest particles hinder empirical analyses of block and stone contents. The cause to the necessity of using big samples for total analyses is due solely to the very coarsest part of the grain size distributions. That means that a sample size of 1 000 kg gives a maximal grain size for satisfactory accuracy of 200 mm, while the remaining coarser part of the grain size distribution requires a considerably much larger sample. Two strategies to get around the problem with large samples are utilised in the single particle weighing method. One is to reduce the sample size by omitting the finer part of the till after that a satisfactory accuracy is received for that part. The other strategy is to exclude the coarsest part out of the analysis and instead make an extrapolation of this part from the recorded data.

Total analysis by the single particle weighing method

This method includes 4 steps, where the maximal grain size for satisfactory accuracy gradually increases step by step.

Step 1. The first step is a conventional grain size analysis, where the fine-grained part is analysed with a sample size of c. 1 kg, where the maximal grain size for satisfactory accuracy is 20 mm.

Step 2. The second step starts with sieving a large sample through a 20 mm sieve for estimating the weight- proportion between material <20 mm and >20 mm. Each single particle >20 mm is after this weighed and recorded in a table. The particle weights are tabled and sorted according to increasing weights within a spread sheet program. The recorded weight is recalculated into the nominal grain size diameter by assuming the particle to be spherical and to have a specific weight of c. 2.65 g/cm³. A grain size distribution curve for particles >20 mm is constructed and the largest grain size recorded in the weighing constitutes 100 %. The grain size distributions <20 mm and >20 mm are then easily combined as the proportion between particles <20 mm and >20 mm is known. A weight of >1000 kg is recommended for analysing the proportion between material <20 mm and >20 mm. That gives a maximal grain size for satisfactory accuracy of 200 mm.

Step 3. Within the third step the data concerning particles >60 mm is extended without minding the large amount of finer grains that exist within the sample. The recorded particles >60 mm from this step are added to those from previous step. In this way a higher accuracy is received for the statistical calculations of material >60 mm. If larger particles are recorded within step 3 than within step 2, that means that these falls above 100 % in relation to the grain size distribution calculated within step 2. Decreasing the percentage values within the complete grain size distribution so that the largest particle falls at 100 % finishes step 3, Fig.1.

Step 4. In reality it is impossible to gain a satisfactory accuracy for a grain size distribution within the interval 400–1000 mm by empirical data. However, that can be obtained by making a mathematical extrapolation. The estimation of a total grain size distribution thus embraces an extrapolation of the grain size curve above 100 % by the tanh-method.

Some conclusions from the total analyses

All tills analysed in this investigation include a fine-grained matrix mode and a coarse-grained clast mode, but a third clayey mode exists in some till types. It can be concluded that the fines within tills mostly are derived from a specific clay mode. The total analyses show that most tills, especially mature tills (basal tills), have deficits of particles between 1–20 mm, which suggests that fine gravel are more easily crushed than stones and boulders. The deficits of fine gravel are accompanied by surpluses of sand, which shows that gravel is transformed into sand. One can assume grain size composition to be more origin in immature tills (ablations tills) than in mature tills, as bimodality is much more indistinct within immature tills. The coarsest parts of the grain size curves both within mature respectively immature tills exhibit great similarity, which is interpreted as stones and boulders have a general ability to survive the crushing process.

The proportion method for estimating till coarseness

This method is used for approximating stone and boulder contents from small samples by restricting the analyses to estimates of the proportion between the matrix mode and the clast mode. The matrix mode and the clast mode overlap at c. 5 mm, which means that the proportion between these modes can be estimated with relatively great accuracy by sieving a sample at c. 5 mm. As large particles (>5 kg) are excluded in the analyses the coarsest particles will be underestimated. This systematic fault can approximately be corrected by enlarging the weight >5 mm by c. 1.1 (10 %). By using this correction it is possible to receive satisfactory results of the proportions from sieving c. 50 kg. It is a matter of course that larger samples will get much more reliable results.

The proportion method has been tested at 6 sites and the results are compared with estimations received from the single particle weighing at the same sites. The measurements of proportions can also be used to prognosticate total grain size distributions by combining with the results of conventional analyses. A new grain size curve can be constructed by recalculating the conventional analysis so that the percentage value at 5 mm falls at the value estimated by the proportion method. The end point of the curve is also known as the grain size curve asymptotically should reach 100 % at 1 000 mm. Actually it is possible to draw a satisfactory total grain size curve just from this information by free hand.

References

- Påsse, T., 1996: Tanh-functions for interpreting grain size distribution. *GFF* 118, 122–123.
Påsse, T., 1997: Grain size distribution expressed as tanh-functions. *Sedimentology* 44, 1011–1014

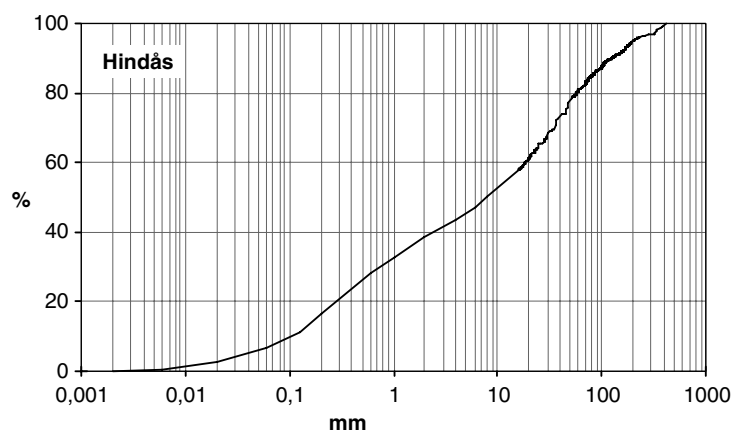


Fig. 1. A total analysis from empirical data from Hindås, southwestern Sweden.

Kvantitativa bestämningar av mineral i svenska leror

SVEN SNÄLL, Sveriges geologiska undersökning
sven.snall@sgu.se

Ett antal leror från Uppland, Östersjön och Bohuslän har analyserats kemiskt och kvantitativt med avseende på mineralogisk sammansättning.

Vid mineralogiska analyser av leror görs vanligen bestämningar bara kvalitativt, dvs. det bestäms vilka mineral som ingår leran. I vissa fall utsträcks bestämningarna till uppskattningar av halterna av ingående mineral, s.k. semikvantitativa bestämningar, då ofta fördelningen bara mellan lermineralen i leran. Innehållet av mineral som kvarts och fältspat beaktas ej. De semikvantitativa bestämningarna baseras enbart på uppmätta data från röntgendiffraktionsanalys av leran. Intensiteterna hos topparna korrigerade med faktorer vilka antas gälla för intensitet/haltrelationerna för de enskilda mineralen i röntgendiffraktions diagrammen får representera innehållet av mineralen i leran. Metodiken är jämförelsevis snabb och ger en i många fall tillräcklig information för tolkningar av geologiska miljöer.

För mera noggranna haltbestämningar av mineral i leror krävs att röntgendiffraktionsanalyserna kompletteras med kemiska analyser. Kvantitativa röntgendiffraktionsanalyser kan åstadkommas om en standard tillförs analysprovet. Då kan effekterna av olika absorption av röntgenstrålningen i proverna elimineras genom att intensiteterna hos topparna från mineralen som skall bestämmas mäts som kvoter i förhållande till topparna hos standarden. Metodiken fungerar bra om mineralen är välkristalliserade och provprepareringen är anpassad till materialets karaktär för att undvika störande orienteringseffekter.

Lermineral är emellertid inte lika välkristalliserade som bergartsbildande mineral. De är i de flesta fall skikt-silikater och har därmed en form (som fjäll) som lätt ger upphov till orienteringseffekter vid analyserna. Defekterna i kristallerna (dålig kristallinitet) är särskilt påtaglig i c-axelns riktning (vinkelrät skiktplanen) hos lermineralen. Detta medför att topparna representerande dessa gitterplan, vilka är toppar med den högsta intensiteten från lermineralen, är osäkrare än andra för att använda till kvantifiering av mineralen.

Toppar representerande andra gitterplan anses mer lämpade för kvantifiering av lermineral. 'Srodon m.fl. publicerade (2001) en metodik för kvantitativ röntgendiffraktionsanalys av mineral i prover med hög halt av lermineral. Istället för toppar representerande basalplanen (001-toppar) används toppar representerande ett plan i stor vinkel mot dessa för kvantifieringen av lermineralen, nämligen 060-planet. Dessa toppar är intensitetssvaga och kräver att analysprovet är preparerat så att kristallerna ligger regellöst orienterade vid analysen. Analystiden är också mycket längre än vid konventionell lermineralanalys. Denna metodik har inarbetats och applicerats i detta forskningsprojekt för kvantifiering av mineralen i de svenska lerorna.

Analyserna visar att illithalterna i lerorna vanligen ligger inom intervallet 20–35 viktprocent, klorithalterna 7–13 viktprocent och kaolinitalterna oftast under 3 viktprocent. Kvartsinnehållet varierar starkt. Halter mellan 10 viktprocent och 20 viktprocent är vanliga. Halterna av kalifältspat ligger inom intervallet 8–18 viktprocent och plagioklas 9–27 viktprocent.

I lerfraktionen (fraktionen <2 mm) är som förväntat illithalterna betydligt högre, i de flesta analyserade prover 40–45 viktprocent, klorithalterna är mellan 10 vikt-20 viktprocent, kaolinitalterna vanligen under 3 viktprocent. Kvartshalterna i lerfraktionen ligger på ungefär samma nivå i många av proverna 7–9 viktprocent, kalifältspathalterna på 5–9 viktprocent och plagioklashalterna varierar mellan 5 viktprocent och 18 viktprocent. Amfibolinnehållet är lågt i såväl lerfraktionen som totala lerprover, mellan 0,5 viktprocent och 4 viktprocent.

Referens

'Srodon, J., Drits, V.A., McCarty, D.K., Hsieh, J.C.C. & Eberl, D.D., 2001: Quantitative X-ray diffraction analysis of clay-bearing rocks from random preparations. *Clays and Clay Minerals* 49, 514–528.

A hydrogeological database based on hydrogeological settings in Sweden

RIITTA LINDSTRÖM & ROGER THUNVIK, Institutionen för mark- och vattenteknik, KTH
riitlind@kth.se

Groundwater models are today essential for management of groundwater resources. Groundwater models will also be important tools for implementation of the groundwater part of the Water Framework Directive. However, the usefulness of groundwater models is often limited due to lack of input data to the models. Especially descriptions of variations of different variables are lacking. Not many databases are found in Sweden addressing the needs for groundwater modelling. The present work describes the development a prototype for a new hydrogeological database for groundwater modelling. The idea is to use existing information collected by Geological Survey of Sweden. The main effort is put on developing a user-friendly interface for viewing parameter data and to obtain or generate statistical distributions of parameters in the database. The database is structured according to the concept of hydrogeological settings as adopted by The Swedish Environmental Protection Agency. A user selects the hydrogeological setting that best matches the conditions at a site or an area of interest.

The main objectives of the database project could be stated as:

- Develop a hydrogeological database based on actual data collected from field investigations.
- Structure the database according to the hydrogeological settings defined by the Environmental Protection Agency
- Develop a user-friendly interface for the database that can be used for:
 - viewing the field data and
 - statistical calculations of key parameters.

All records are stored in Microsoft Access. The database interface is designed using Visual Basic 6.0. The Access database is constructed by the Geological Survey of Sweden. The database contains data from 37 Swedish municipalities. The information is based on aquifer tests, soil samples, geological logs, water-quality sampling data, etc. obtained from field investigations. However, the groundwater data available today is only partly satisfactory. The data need to be completed by hydraulic conductivity, porosity and storativity values to meet the needs for groundwater modelling. A table of hydrogeological settings needs to be included in the database as well. Once a geographical area and a setting have been selected, the user has two options. The first one allows the user to retrieve any record about hydraulic conductivity, porosity, specific storage or seepage velocity. In addition one can extract information about the depth to groundwater level. The second one uses a statistical routine for analysing parameters mentioned above. The statistical distribution type has to be defined from a list for the parameters in the statistical analyses. One can choose between normal, lognormal, uniform or triangular distributions. The statistic information includes Count, Mean, Maximum, Minimum, Standard Deviation and Variance for the selected parameter. The database is still under development and partly fictitious data are used to test the functionality of the database. The data however refer to real data in the database for the Heby municipality. A GIS application for viewing data layers is planned to be linked to the database.

Radon, radium och uran i brunnsvatten

BRITT-MARIE EK, Sveriges geologiska undersökning
britt-marie.ek@sgu.se

Syftet med denna studie har varit att förbättra kunskapen kring olika radionuklidens förekomst i dricksvatten, eventuella samvariationer sinsemellan och samverkan med ett antal tungmetaller. Dessutom har radons tidsmässiga variationer i vatten och radonhalten i slutna jordakviferer undersökts.

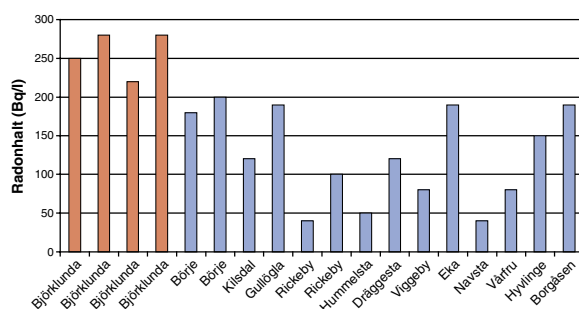
EUs dricksvattendirektiv (98/83/EC) har som syfte att säkerställa att vatten kan konsumeras av människor utan risk. För radon och andra radioaktiva ämnen finns rekommendationer framtagna för att minimera stråldoserna. Ett referensvärde för Total Indikativ Dos, TID, på 0,1 mSv per år har fastställts vilket Sverige har antagit för att börja gälla 25 december 2003. För uran är det dess kemiska toxicitet och inte stråldosen som kan innebära problem. Det pågår arbete inom EU för att fastställa ett gränsvärde för uran pga av dess toxicitet. WHO:s rekommendation ligger på högst 9 ppb uran. USA har fastställt ett gränsvärde för uran på 30 ppb och Kanada har ett preliminärt gränsvärde på 20 ppb.

Radon i dricksvatten kan bidra till att höja radonhalten i inomhusluften och kan även innebära hälsorisker vid förtäring. Vid undersökningar av radonhalten i vatten har i de flesta fall endast en analys genomförts och legat till grund för genomförda åtgärder. Uppgifter om att radonhalten i vatten kan variera kraftigt över tiden har tidigare redovisats. Följande undersökning redovisar resultat från en begränsad tidsstudie av radonhalten i några svenska brunnsvatten.

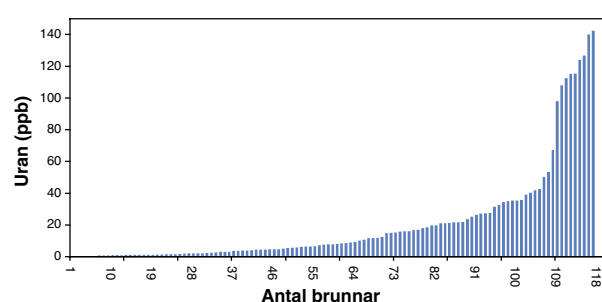
Radonhalten i vatten från grävda brunnar är i de flesta fall mycket låg. S.k. spetsbrunnar som tar sitt vatten från slutna jordakviferer, misstänktes kunna ha förhöjda radonhalter under vissa förhållanden. Radonhalten i de 14 brunnar som provtagits, se figur 1 nedan, översteg inte 300 Bq/l.

Den svenska berggrunden innehåller relativt höga halter av uran, och då främst i områden med vissa gnejser, graniter och pegmatiter, vilket även medför att dricksvattnet kan ha höga uranhalter. Liknande berggrund och jämförbara förhållanden återfinns i Finland, där man konstaterat att dricksvatten har relativt höga uranhalter i vissa områden. Internationellt skiljer Sverige och Finland ut sig med dess högre uranhalter i dricksvatten. Radium, som har en avsevärt högre aktivitet jämfört med uran, är vanligtvis, och lyckligtvis, sällsynt förkommande p.g.a. av dess svårslöslighet. Under speciella kemiska förhållanden kan dock radiumhalten vara förhöjd.

Resultaten från denna undersökning visar att uranhalterna varierar kraftigt mellan olika akviferer. För de analyserade bergbore brunnarna (figur 2) är medelhalten 20 ppb, medianhalten 7 ppb och med en maximalt uppmätt halt på 140 ppb.



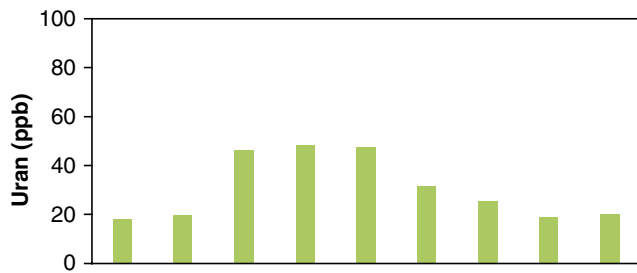
Figur 1. Analyser av radon i vatten från 14 s.k. spetsbrunnar.



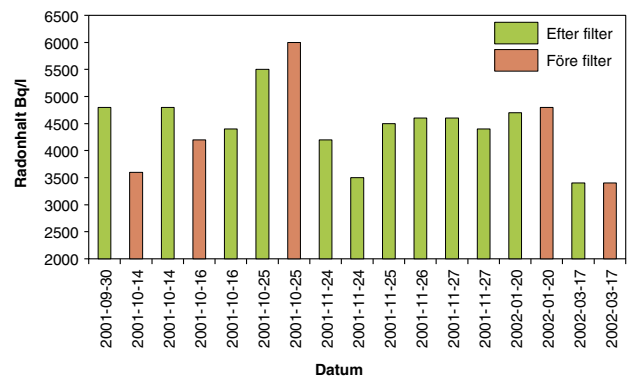
Figur 2. Analyser av uran i vatten från 119 bergbore brunnar.

Höga radiumhalter är sällsynta men förekommer och kan i vissa fall ställa till med avsevärda problem. I denna undersökning erhöles den maximala radiumhalten 2,3 Bq/l och med en medelhalt på 0,13 och en medianhalt på 0,04 Bq/l. Åtta brunnar av 98 analyserade hade radiumhalter över riktvärdet på 0,5 Bq/l.

Olika typer av filter är tämligen vanligt förekommande för att förbättra vattenkvaliteten. Dessa undersökningarna har visat att vissa filter kan skapa nya problem om vattnet innehåller radium och /eller radon. Figur 4 visar hur filter kan påverka radonhalten i ett radiumrikt vatten vid skilda tidpunkter.



Figur 3. Analyser av uranhalten från olika uttagspunkter i Uppsalas kommunala vatten.



Figur 4. Analyser av radon i vatten från en bergborrad brunn i Hallstahammars kommun. Provtagning före och efter filter.

Microbial arsenate mobilization from mine tailings under microaerophilic conditions

Joyanto Routh & Ambujom Saraswathy, Department of Geology and Geochemistry, Stockholm University
Joyanto.Routh@geo.su.se

This study focuses on identification and quantification of microorganisms involved in mobilization of arsenate (As(V)) from mine tailings. Sediment cores were collected from a lake 500 m away from the sulfidic mine tailings deposit in Adak in Västerbotten district, northern Sweden. The mine tailings are spread out over an area of (1500 m x 2000 m x 100 m), and are mixed with till. Several surface streams run around the huge tailings deposit and they drain into this lake. The pH is low (3–5) and the surrounding area is affected by acid mine drainage.

An arsenic-casein-peptone-soyameal-peptone-agar medium was used in the enrichment culture to isolate As resistant microbial strains from the sediment cores. Four such isolates obtained from the enrichment cultures were incubated under microaerophilic conditions for further studies. Arsenic concentration in the cultures was 1 mM and 2 mM. Arsenic speciation in the aqueous fractions was analyzed spectrophotometrically. For verifying bacterial growth in the cultures, samples were measured after every three days for protein content, turbidity and dry wet mass. Identification of the bacterial strains using API and 16S RNA methods was done at the CCUG Center in Göteborg University.

Here we indicate the first report on bacterial arsenate reduction under microaerophilic to aerobic conditions. Henceforth, all previous studies had indicated anoxic conditions as a prerequisite for this process to be active in nature. All four strains isolated by us were capable of: 1) growing in As concentrations as high as 2 mM, and 2) transforming As(V) to As(III). Killed controls (formaldehyde and HgCl₂ spiked samples) did not show growth or transformation of As(V). Here we show the data for Strain 12 identified as *Chromobacterium* (rod-shaped facultative anaerobe), which is performing the best compared to the other species (Fig. 1). Bacterial growth in the culture falls after 12 days corresponding to the conversion of 74 % As(V) to As(III) in the medium. These bacteria are involved in arsenate reduction as means of detoxification from high As levels in the environment and to gain energy from this process. After As(V) is reduced within the bacterial cell, it is expelled outside. SEM images indicate encrustation of As on the surface of the bacteria (Fig. 1).

As(V) is the predominant species in aerobic environments, and it is considered to be significantly less toxic and mobile compared to As(III). However, a chance for mobilization of As(V) in aerobic environments by bacteria as this study indicates is noteworthy. We believe that bacterial As(V) reduction under microaerophilic to aerobic condition has a profound significance on As mobilization and toxicity in anthropogenically caused As-rich environments as mine tailings or those with naturally occurring high As levels as in India and Bangladesh.

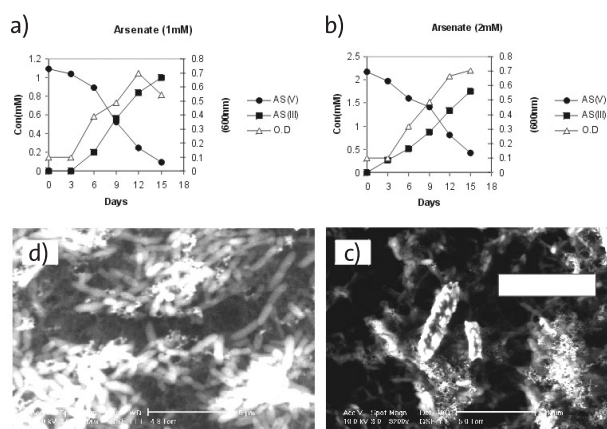


Figure 1. Bacterial Strain 12 showing (in clockwise direction): a) growth represented by increase in turbidity value (optical density) and As(III) reduction in 1 mM solution, b) growth represented by increase in turbidity value (optical density) and As(III) reduction in 2 mM solution, c) morphological characteristics of Strain 12 (as a colony), d) precipitation of As on Strain 12.

Växtrötters förmåga att påverka geokemin för att frigöra tungmetaller i mark

MARIA GREGER, Botaniska institutionen, Stockholms universitet
maria.greger@botan.su.se

I denna studie undersöks växtrötters förmåga att påverka geokemin i jorden, speciellt genom utsöndring av organiska syror och pH förändringar i rotzonen, så att frisättningen av metaller påverkas. Syftet var att ta reda på hur växten kan reglera metallupptaget genom att påverka jordkemin, om skillnader finns mellan växter med högt upptag och växter med lågt upptag av en tungmetall, om olika mekanismer används beroende på metallslag och koncentration av metallen i jorden.

Växtmaterial

Olika kloner av *Salix* användes eftersom kloner med specifika och mycket uttalade egenskaper finns att tillgå. Således användes två kloner av vardera önskad egenskap; lågt respektive högt kadmium (Cd) upptag, lågt respektive högt koppar (Cu) upptag eller lågt respektive högt zink (Zn) upptag.

Metodik

Växterna odlades upp i näringslösning och vid tre månaders ålder överfördes de till ett rotzonsboxsystem, där rotmassan stod i förbindelse med jord via ett nylonnät (25 µm). Jorden var av kompostjord antingen obehandlad eller spikad med Zn, Cd eller Cu. Efter 48 timmar insamlades exuderingslösningen från rotzonen och analyserades på organiska syror med jonkromatograf, peptider med HPLC, Cu, Cd och Zn med AAS samt pH. De funna organiska syror (citronsyra, myrsyra, succinat samt äppelsyra) användes i extraktionsförsök med obehandlad jord av blomjordstyp för att ta reda på hur dessa syror jämfört med enbart vatten och HNO₃, av samma koncentration (1M), sänker pH och frisätter de nämnda metallerna.

Resultat och diskussion

Resultaten visar att växtrötter utsöndrar både organiska syror (framför allt succinat) och i vissa fall hydrofila peptider samt förändrar pH i rotzonen. De organiska syror och det förändrade pH:t påverkar båda var för sig frisättningen av metalljoner från jordkolloiderna i rotzonen.

Enligt extraktionsstudien med syror verkar frisättningen av Cu vara den som påverkas mest av pH där mer Cu frisätts ju lägre pH, medan frisättningen av Zn påverkades mest av förekomst av organiska syror, dock ingen speciell syra. Frisättningen av kadmium var större ju fler karboxylsyragrupper, dvs. H⁺-joner per molekyl som kunde frisättas, som varje syramolekyl hade.

De mekanismer som växterna använde och som skiljde klonerna åt återfanns till största delen hos de lågackumulerande klonerna. Jämfört med högackumulerande kloner hade kloner med låg Cd ackumulering ett högre pH i rotzonen, vilket minskade frisättningen av kadmium från kolloiderna. Vid högre omgivande Cd halt (Cd spikad jord) utsöndrade dessa kloner hydrofila peptider, som troligtvis band Cd och försvårade Cd upptaget från jordlösningen. Detta förändrade dock inte den lösta Cd fraktionen i rotzonen.

Kloner med låg Cu ackumulering ökade pH i rotzonen om den omgivande Cu halten ökades i jorden, på så sätt ökades resorptionen till jordkolloiderna samt förhindrades Cu att frisättas från kolloiderna.

Hos de kloner som hade låg Zn ackumulerande förmåga användes utsöndring av organiska syror från rötterna för att minska Zn upptagningen. Dock verkade detta inte ge någon skillnad i löst Zn halt i rotzonen, vilket antagligen orsakades av att de organiska syror band upp Zn jonerna som hölls i lösning, men inte togs upp av rötterna. I närvaro av högre Zn halt i jorden byts mekanismen från organiska syror till ökning av pH i rotzonen, vilket minskar frisättningen av Zn och därmed upptaget.

Establishing of a database containing comprehensive information on ice movement from a computer ice sheet model – a new tool for studies of glacial geology

JENS-OVE NÄSLUND, Department of Physical Geography and Quaternary Geology, Stockholm university, jens@natgeo.su.se

TOMAS LINDBERG, LARS RODHE, Sveriges geologiska undersökning

In a previous FoU project financed by SGU it was shown that numerical computer simulations of the Weichselian glaciation are capable of providing relevant and complementary information which can be used in glacial geological studies (Näslund et al. 2003). Regional ice flow directions during the Weichselian for five regions in Norrbotten, obtained from an ice sheet model, were compared with regional compilations of geological information on flow directions. The results showed large similarities between the two data sets, especially concerning flow directions as such, but in many cases also when comparing the timing of different flow events. It was concluded that studies of glacial history could benefit from combining traditional glacial geological information with results from numerical ice sheet models. The best way to provide information from ice sheet models to geologists working on reconstructing glacial history in a region, is probably to extract relevant information from a database containing comprehensive model output. In this way there is no need to run the complex ice sheet model at SGU, but instead use data exported from a well-calibrated model run made elsewhere. The overall aim of the present FoU project is to construct such a database at SGU, containing the output from a new high quality model simulation of the Weichselian ice sheet. The project comprises three parts: 1) ice sheet modelling, 2) establishment and structuring of a database, and 3) development of search- and presentation tools.

Within the project a simulation of the Weichselian glaciation has been made with the UMISM model (University of Maine Ice Sheet Model) in order to develop and test methods of exporting data from the model to a database. A computer programme was written to export relevant parameters from the ice sheet model to a computer file having a suitable format for import to a database at SGU. In the ice sheet model a Digital Elevation Model with a certain grid size represents the landscape. At each time step during the Weichselian, the model calculates a large number of parameters for each grid cell. With the new programme, output data from the model run can be exported at a user-defined time-step (typically a larger time step than the time step used and needed for the stability of the numerical calculations). In our case the following parameters were put into an export file every 500 years during the Weichselian, for every grid cell: a) longitude, b) latitude, c) accumulation rate at the ice sheet surface, d) ice surface elevation, e) bed elevation (including isostatic depression), f) ice velocity, g) ice flow direction, h) englacial ice temperatures, i) basal ice temperature (including melted or frozen state), j) basal ice melting rate, k) basal water thickness and water flow, and l) basal sliding distance (modelled proxy data for glacial erosion). The resulting file contains all data necessary for building a database of the modelled Weichselian ice sheet at SGU.

A number of practical issues on the transformation of information from the model to the database have also been addressed, for example the fact that the model works with a coordinate system that differs from regular geographic or projected coordinate systems. Another complication that was solved was that the some of the model output for each grid cell is produced at the centre of the cell while other parameters are calculated at the grid nodes. All data are now exported with their corresponding correct latitude and longitude coordinates (different for cell centres and cell nodes), which makes it possible to import the data in a correct way to the database. Literature studies on ice sheet modelling and the Weichselian glaciation have also been undertaken. Parts of this will be included in a documentation of the model run described above, including references on the model and the input data used (such as Digital Elevation Data and GRIP temperature curve). Most of the prerequisites for importing ice sheet model results into a database at SGU are now at hand.

The present FoU project has also contributed with ideas to the development of a high-resolution modelling feature now included in the ice sheet model. This allows for so-called embedded modelling, where smaller user-defined geographical regions can be modelled at a very high (down to sub-km) spatial resolution. This will provide ice sheet model results that more easily compared and analysed with local geological information. Results from high resolution ice sheet modelling can use the same procedure for data export from the model as described above. In the end, this will make the database a better tool when it comes to providing new datasets against which glacial geological field data can be compared and analysed, all in order to test and improve glacial geological interpretations.

References:

Näslund, J.O., Rodhe, L., Fastook, J.L. & Holmlund, P., 2003: New methods of studying ice sheet flow directions and glacial erosion by computer modelling – examples from Fennoscandia. *Quaternary Science Reviews* 22 (2–4), 245–258.

Utvärdering och utveckling av grundvattennätets nivådata

MAGDALENA THORSBRINK & BO THUNHOLM, Sveriges geologiska undersökning,
magdalena.thorsbrink@sgu.se

Grundvattennätet har funnits sedan slutet av 1960-talet och består i dagsläget av ca 350 stationer där nivåmätningar görs 2 gånger i månaden. Mätningarna utförs till största delen manuellt vilket medför risker för såväl felavläsningar som fel i samband med inlagring i SGUs databas. Grundvattennätets uppgifter utgör underlag för framtagandet av månadskartan över grundvattennivåer. Vidare används nätets uppgifter som ett referensmaterial i samband med mänsklig påverkan. Grundvattennätets data kommer att spela en viktig roll i SGUs miljömålsarbete.

Syftet var att utvärdera grundvattennätets nivådata med avseende på:

- metoder för felkontroll av data
- eventuella omDispositioneringar och omprioriteringar av mätstationer
- utveckling och användning av automatstationer

Som ett första steg i utvecklingen av felkontroller genomfördes en visuell granskning av samtliga stationers nivådata. Omkring 30 stationer har tidsserier som är funktionellt tveksamma vilket innebär att de kan komma att tas bort från mätprogrammet. Vidare har ca 80 stationer enstaka misstänkta felaktiga värden, dvs mätserier med tydliga ”hopp” i mätserien som kan ha orsakats av felavläsning eller dylikt. Metoder för att upptäcka denna typ av fel har utvecklats genom att studera (1) nivåernas avvikelserna från medelnivåerna under året och (2) nivåförändringarnas avvikelse från medelförändringarna under året. Dessa två metoder kommer att användas för felkontroll i samband med inlagring av data i SGUs databas. Den utarbetade kontrollen ger varningssignaler för troliga felaktigheter i data varpå en manuell granskning måste göras. Därefter kan eventuella felaktiga data åtgärdas.

Möjligheter till omDispositioneringar och omprioriteringar av grundvattennätet studerades genom att beräkna (1) samvariation mellan olika mätstationers nivådata samt (2) inom- och mellanårsvariation för varje tidsserie där större grundvattenförekomster antas ha en relativt mindre inomårsvariation. Samvariationen beräknades som korrelationskoefficienten (r) parvis mellan samtliga stationernas nivådata. Resultatet visade på en mycket jämn spridning mellan $r=-1$ och $r=1$, vilket kan tolkas som att grundvattennätet upptar en stor variation av hydrogeologiska miljöer. Studier av förhållandet mellan inom- och mellanårsvariation visar att stora grundvattenförekomster är underrepresenterade. Sammantaget finns brist på mätstationer i västra Skåne samt kustnära områden i Halland, Norra Värmland och Dalarna, Stockholms skärgård, Roslagen och Gästriklands kustområden samt stora delar av inre Norrland och Västerbotten. Mätstationer med automatisk mätning, lagring och överföring av data kan med fördel användas för snabbreagerande grundvattenförekomster.

Analys av de svenska granitoidernas petrofysiska och naturliga strålningsegenskaper

ILDIKÓ ANTAL, LUTZ KÜBLER, LEIF KERO, JOHAN SÖDERMAN & SVEN AARO, Sveriges geologiska undersökning,
ildiko.antal@sgu.se

Sveriges geologiska undersökning (SGU) påbörjade regelmässiga mätningar av bergartsprovs densitet och magnetiska egenskaper såsom susceptibilitet och remanent magnetisering i slutet av 1960-talet. I mitten av 1980-talet påbörjades även systematiska mätningar av bergarters gammastrålningsegenskaper. Huvuddelen av dessa har utförts på berghällar inom de områden som varit föremål för berggrundskartering. Gammastrålning är energirik elektromagnetisk strålning. I geologiska tillämpningar intresserar man sig för den naturliga gammastrålning som härrör från isotoperna kalium (^{40}K), radium (^{226}Ra) och torium (^{232}Th).

Avsikten med de petrofysiska mätningarna är att koppla ihop berggrundsgeologin med främst magnetfältsmätningarna och tyngdkraftsmätningarna men även med gammastrålningsmätningarna.

Projektet är en analys av de svenska granitoidernas petrofysiska egenskaper. Syftet var att ge de i landet förekommande granitoiderna ett signalement med hänsyn till deras petrofysiska egenskaper, samt öka kunskapen och erfarenheten om bergarternas fysikaliska egenskaper.

En stor datamängd från olika delar inom Sverige har undersökts och dokumenterats med avseende på gammastrålningsegenskaper (ca 8000 mätvärden) samt densitet, susceptibilitet och remanent magnetisering (ca 19 000 mätvärden). Data har delats upp i grupper utifrån redan kända åldersförhållanden med hänsyn tagen till den geografiska indelningen i projekt nr 5172 (Ahl m.fl. 2001). Egenskaper inom en och samma åldersgrupp har också studerats. Som berggrundsgeologiskt underlag har Fennoskandiska skölden använts. Informationen från de olika grupperna har behandlats statistiskt och jämförts med varandra. Först behandlades och dokumenterades datamängden över hela Sverige, sedan delades datamängden upp över fem olika delområden. Den rumsliga variationen studerades också.

Analysen visar att granitoiderna, i många fall, uppvisar skillnader med avseende på petrofysiska och gammastrålningsegenskaper i relation till ålder. Även rumsliga variationer påvisades inom samma litologi.

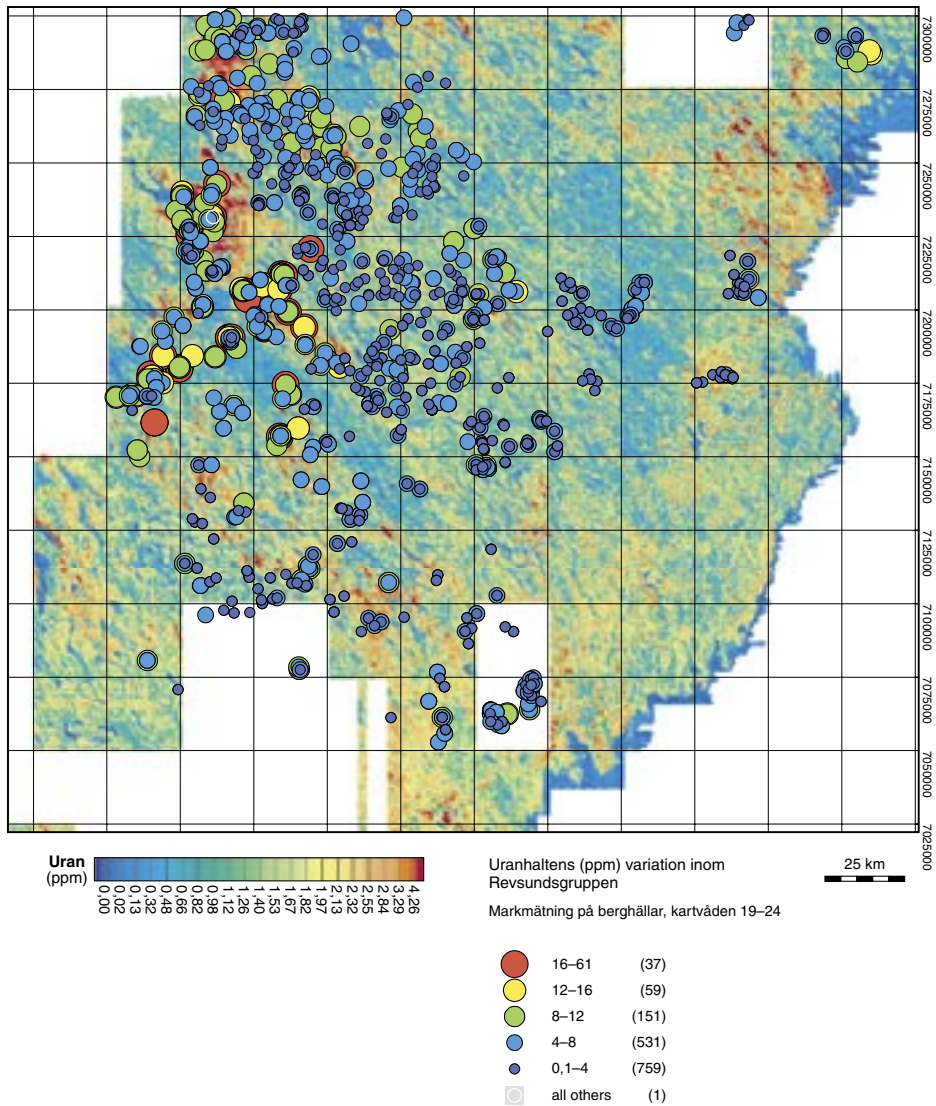
Som ett indirekt resultat av projektet har vi nu tillgång till en första sammanställning i databasform innehållande gammaspektrometermätningar på berghällar, i jordarter och på handstuffer.

Fördelar med att använda petrofysisk samt gammastrålningsinformation inom berggrundskarteringen är följande:

- tillgång till stor datamängd med flera variabler som lämpar sig för statistiska analyser
- mätning av gammastrålning är snabb och billig man får resultat redan i fält och därmed en fingerisning över grupptillhörighet
- gammastrålningsdatabasens databas tillsammans med flyggeofysiskt underlag användbar för radonriskbedömningar i berg, jord och vatten.

Referens

Ahl, M., Bergman, S., Bergström, Eliasson, T., Ripa, M., & Weihed, P., 2001: Geochemical classification of plutonic rocks in central and northern Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden 106*.



Figur 1. Uranhaltens (i ppm) variation för Revsundsgraniter inom kartvådena 19–24. Det framgår tydligt att Revsundsgraniterna i västra kartområdet har högre uranhalt än de i östra kartområdet. Karta över markens uranhalt från flygmätningen ligger som underlag.

Regional stratigraphy, basin evolution, and the setting of stratabound Zn-Pb-Cu-Ag-Au deposits in Bergslagen, Sweden

RODNEY ALLEN, Luleå tekniska universitet, Avdelningen för malmgeologi, rodallen@algonet.se

STUART BULL, Centre for Ore Deposit Research, University of Tasmania, S.Bull@utas.edu.au

Aims

This project aims to provide an integrated volcanic, sedimentary, structural and geochemical interpretation of the interbedded volcanoclastic-carbonate rock sequences that host ore deposits in Bergslagen. The studies aim especially to document the nature and environmental significance of limestones in Bergslagen, and the geological setting of the base metal sulphide ores. Supracrustal rocks in Bergslagen are strongly deformed and generally metamorphosed to amphibolite facies. Consequently, an important aim of this study is to document how primary textures and facies characteristics can be recognised in the meta-carbonate rocks.

Methods and Work carried out

The project involved a regional component in which interbedded carbonate and volcanoclastic stratigraphies were studied at Sala, Viker (Älvsången), Garpenberg, Grythyttan and Glanshammar, and an ore deposit component, in which the Garpenberg Norra limestone-hosted Zn-Pb-Ag deposit was studied in detail.

The project was strongly field-based. Reconnaissance mapping of carbonate rocks was carried out in several parts of Bergslagen and representative and critical outcrops were mapped in detail. Sedimentological-volcanological logs were constructed for two regional outcrop traverses at Garpenberg and Älvsången/Viker, and for two traverses within the Sala dolomite. The Finntorpet and Tistbrottet dolomite quarries at Sala were mapped. Detailed sedimentological-volcanological logs were also constructed for 31 drill cores from Garpenberg, Älvsången/Viker and Sala. The drill core studies were used to construct a geological cross section across the Viker Zn mineralization, and two geological cross sections and two level plans of the Garpenberg Norra ore deposit.

These field studies were used as the foundation and context for a detailed litho-geochemical survey of carbonate facies, skarn and interbedded felsic facies, and for a reconnaissance study of carbon and oxygen isotope signatures in carbonate facies in Bergslagen. Major, trace and rare earth element analyses (whole rock analyses – 56 elements analysed for each sample) were carried out on 271 samples, carbon and oxygen isotopes were measured on 42 samples, and mineral chemistry was analysed by electron microprobe in 47 samples.

Results

Limestones (marbles actually) occur sporadically in most parts of Bergslagen and range from thin intercalations of limited lateral extent (100's of m to a few km) to thick (100's of m) regionally extensive (10's of km) horizons. The genesis of these units has been variously interpreted in the literature. Stromatolites have been noted previously at Sala, Danemora and Glanshammar (Lundqvist 1979, Lager 1986) and microbial layering has been recognised in thin section from Grythyttan (Boekschoten et al. 1988). However, marbles at Garpenberg and other areas have been interpreted as hydrothermal in origin (e.g. Vivallo 1985).

By using the well preserved limestones at Sala as a guide, we argue that all the large carbonate bodies studied in this project are clean, stromatolitic, limestone reef facies (Fig. 1), formed in a shallow volcanoclastic-dominated marine basin at times of reduced volcanoclastic sedimentation. Laminated carbonate samples from Sala and Älvsången provide the most accurate measurement yet of the primary C and O isotopic signature of Bergslagen carbonates (18.8–21.7 ‰ $\delta^{18}\text{O}$, 0.1–1.1 ‰ $\delta^{13}\text{C}$) and confirm their marine microbial origin. We interpret the smaller carbonate lenses as small reefs and as medial-distal clastic deposits shed from the reefs into deeper water. Thinly interbedded siliceous rocks

and skarn (skarn-banded leptites, Fig. 2) are interpreted as interbedded felsic ash-siltstone and calcareous ash-siltstone, deposited in a sub-wave base environment. The skarn results from metamorphism of a primary hydrothermal sediment component that was deposited with the carbonate-bearing layers or a hydrothermal component (alteration) that infiltrated the carbonate beds after deposition.

The carbonate reef facies have a cyclic interbedding of thick (average 5 m) limestone and thinner (average 10–100 cm) felsic ash-siltstone/sandstone beds (Fig. 3). The cycles are attributed to repeated growth of the reef up to wave base, dumping of felsic detritus onto the reef via ash fall eruptions and wave action resulting in smothering of the microbial community, continued basin subsidence back to deeper water (sub-wave base) conditions, re-colonisation by the microbial community, growth to sea level again, and so on. Distinct microbial layering is preserved locally in the lower metamorphic grade areas (Sala) and as faint relics pseudomorphed by skarn minerals in the higher grade areas. However, even in the strongly deformed and metamorphosed carbonates, evidence of a former microbial stromatolitic character is provided by the bulbous-lobate tops of carbonate beds that mimic original stromatolite dome structure, and the down-ward projecting cusps of the overlying felsic beds, which in-fill the stromatolite heads (Fig. 4).

Garpenberg-type ores (Garpenberg, Sala) formed as syn-volcanic stratabound hydrothermal replacements in and adjacent to stromatolite reef facies, and were subsequently variably remobilised during tectonic deformation. Regional depletion in $\delta^{18}\text{O}$ occurs in carbonates in the intensely mineralised Garpenberg area and $\delta^{13}\text{C}$ depletion occurs close to ore. Stratiform-type ores hosted in carbonate successions, such as at Viker, are attributed to deposition of metaliferous hydrothermal sediment amongst laminated, distal, deeper water carbonate facies. The lithogeochemical data enables defini-



Figure 1. Columnar stromatolite structures, Finntorpet, Sala.

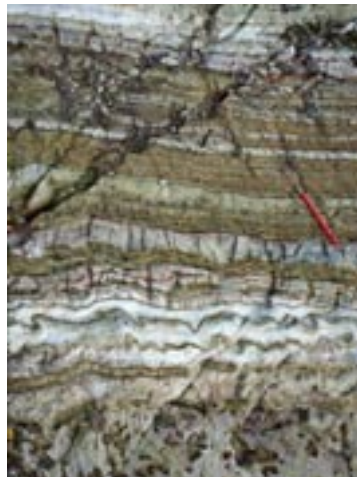


Figure 2. Thinly interbedded skarn and felsic ash-siltstone, Garpenberg.



Figure 3. Overview of cyclic interbedding of carbonate (dolomite) reef facies (pale coloured) and felsic ash-siltstone-sandstone facies (dark layers), Tistbrottet, Sala.



Figure 4. Lobate top of limestone and cusps base to felsic interbed, Sala.

tion of primary volcanic compositions, chemostratigraphies for the Garpenberg and Älvsången areas, the amount of detrital volcanic component in the carbonate facies, and the precursor compositions of the skarns.

References

- Boeschoten, G.J., van der Raad, A.C., Kenter, J.A.M. & Reymer, J.J.G., 1988: Note on a mid-Proterozoic stromatolite limestone, south of Grythyttan, Bergslagen, Sweden. *Geologie en Mijnbouw*, 67, 467–469.
- Lager, I., 1986: The Dannemora iron ore deposit. In I. Lundström & H. Papunen (eds.), Mineral deposits of southwestern Finland and the Bergslagen region, Sweden, 7th IAGOD Symposium, excursion guide number 3: *Geological Survey of Sweden Ca 61*, 26–30.
- Lundqvist, T., 1979: The Precambrian of Sweden, *Geological Survey of Sweden C 768*, 87 pp.
- Vivallo, W., 1985: Subseafloor hydrothermal alteration during the Early Proterozoic at Garpenberg, Central Sweden. *Mineralium Deposita* 20, 33–42.

The timing and mechanisms of epigenetic ore-forming processes in the Norrbotten county

KJELL BILLSTRÖM, Naturhistoriska riksmuseet, kjell.billstrom@nrm.se

OLOF MARTINSSON, Avdelningen för malmgeologi, Luleå tekniska universitet

Epigenetiska Fe oxid-Cu-Au mineraliseringar utgör en malmtyp med stor ekonomisk potential som uppmärksammats under det senaste decenniet speciellt efter fyndet av Olympic Dam-fyndigheten i Australien. Denna malmtyp förekommer i norra Sverige men kunskapen om de svenska fyndigheterna och deras bildningssätt är begränsad. En viktig pusselbit i en malmbildningsmodell är kännedom om ursprunget för de ingående metallkomponenterna och själva bildningstidpunkten. Denna studie syftar till att fördjupa kunskapen om dessa två parametrar genom att tillämpa olika isotoptekniker; främst U-Pb datering av titanit och bestämning av Pb-Pb isotopkvoter i blyglans och fältspat.

Norra Sverige utgör en del av Fennoskandiska skölden och berggrunden inkluderar både Arkeiska bergarter (främst 2,7–2,6 Ga graniter), en grönstenssekvens (ca 2,2–1,9 Ga) och yngre Svekofenniska yt- och djupbergarter (1,9–1,8 Ga). Stora deformationszoner är viktiga element i berggrunden och ganska litet är känt om när dessa zoner varit aktiva. Samtidigt står det klart att det finns rumsliga samband mellan deformationszoner och enskilda mineraliseringar och därmed är det möjligt att malmbildande lösningar har aktiverats samtidigt med rörelser i jordskorpan. En annan koppling kan finnas mellan malmbildande processer och metamorf aktivitet. Höga geotermal gradienter under metamorfos, men även i samband med magmatism, kan vara en viktig styrande faktor i samband med avsättning av metaller i epigenetiska strukturer. Hypotetiskt kan de faktorer som nämnts ovan; deformation, magmatism och metamorfos, vara tidsmässigt relaterade till epigenetisk malmbildning och en utgångspunkt för denna studie har varit att undersöka om dylika kopplingar kan göras.

De Fe-oxid-Cu(-Au)-mineraliseringar som är provtagna i denna studie förekommer huvudsakligen i porfyriska bergarter (ca 1,9 Ga) vilka ligger stratigrafiskt ovanpå grönstensgruppens bergarter. Mineraliseringarna bildar huvudsakligen gångar och malmbreccior och den epigenetiska karaktären implicerar att värdbergartens ålder utgör en maximialder för mineraliseringen. Ett typiskt drag är närvaron av en omvandlingsparagenes som inkluderar t.ex. skapolit, K-fältspat och albit. Även titanit utgör en del av denna paragenes som också inkluderar de metallsulfider (främst kopparkis) som utgör den ekonomiska potentialen. Titanits uppträdande tyder på att detta mineral är samtidigt med avsättningen av metaller och att en (U-Pb) ålder för titanit därmed också daterar malmbildningen. Ett tjugotal titaniter från fyndigheter i Norrbotten har analyserats inom ramen för detta projekt och erhållna åldrar definierar ett relativt komplext mönster. Det tycks finnas två huvudgrupperingar (se Fig. 1); en grupp har titanitåldrar i åldersintervallet ca 1880–1860 Ma, och vidare kan en yngre generation med åldrar av ca 1800–1750 Ma urskiljas. Det är emellertid ej självklart om dessa åldrar kan korreleras till krustala processer i jordskorpan. Det finns exempelvis inget entydigt samband mellan hur åldrar fördelar sig och typen av värdbergart eller den geografiska positionen för specifika prov. Vad som däremot finns belägg för är att vissa malmer som förekommer längs stora deformationszoner har snarlika åldrar. Exempelvis har malmer i ett stråk kring Nautanen med en rumslig relation till en närliggande deformations zonen titanitåldrar i intervallet ca 1790–1780 Ma. Denna relation ger stöd för teorin att vissa malmer bildades synkront med rörelser längs vissa svaghetszoner i jordskorpan. Det finns också ett antal mineraliseringar som är rumsligt associerade med intrusioner och exempelvis för Pikkujärvi-fyndigheten tycks malmtitanit ha samma ålder som associerad intrusion. Härav följer att vissa malmbildnings-processer tycks hänga ihop med den magmatiska utvecklingen, och på det hela taget förefaller flera olika typer av krustala processer ha ledit fram till bildningen av enskilda epigenetiska mineraliseringar.

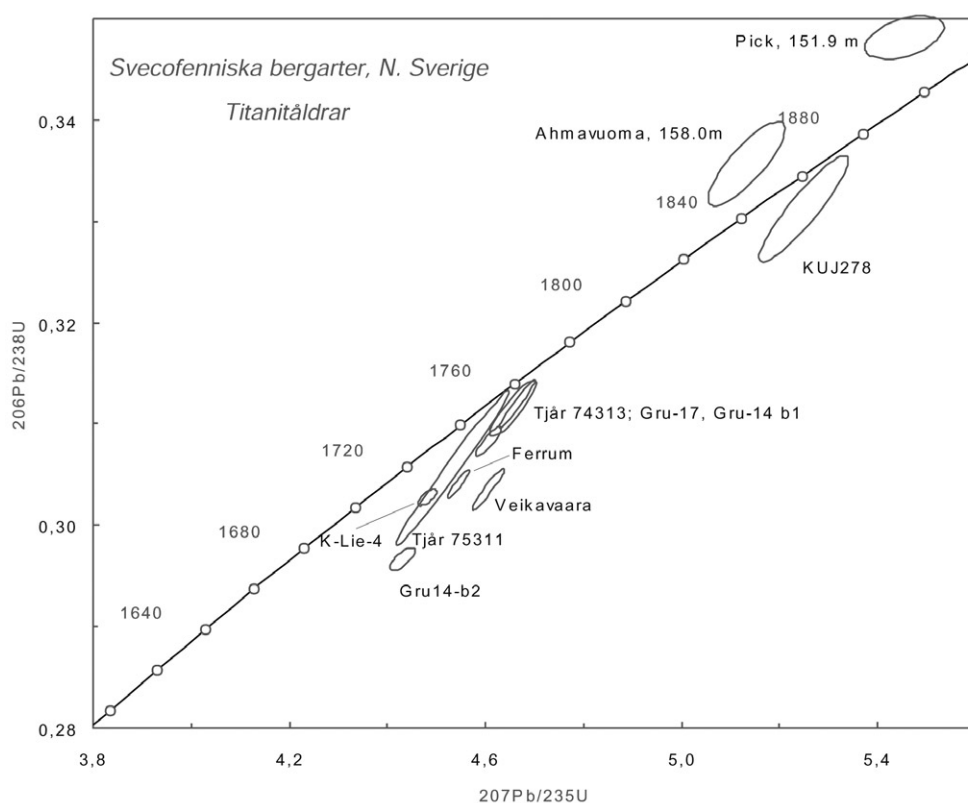
Vissa titanit- och monazitprov som utifrån fältuppträdande har tolkats såsom bildade under metamorfa episoder har också daterats i detta projekt. En del av dessa titaniter ger åldrar kring 1800 Ma som är kompatibla med en regionalmetamorf händelse av samma ålder som dokumenterats på

andra ställen i N. Sverige. Andra prov genererade åldrar nära 1850–1860 Ma som definierar en metamorf händelse som inte tidigare varit känd i N. Sverige. Ytterligare andra titanitprov av förmodat metamorft ursprung ger spridda åldrar som täcker in ett stort tidsintervall ca 1880–1730 Ma, vilket indikerar att flera metamorfa händelser av möjligen endast lokal signifikans har påverkat berggrunden i N. Sverige.

Utöver U-Pb dateringar har även vissa Pb-Pb undersökningar av blyglans och K-fältspat genomförts. Sedan tidigare har blyglansanalyser av prov från olika delar av Sverige givit starkt radiogena data som tyder på att unga, Fanerozoiska processer har påverkat berggrunden. Bl.a. har Romer m.fl. (1993) utifrån Pb isotopdata dokumenterat en tektonisk reaktivering i stora delar av Sverige som han relaterade till rörelser i fjällkedjan samt till "rifting"-processer. Nya data i föreliggande studie visar att mobilisering av bly inte bara har varit kopplat till nybildning av blyglans utan också av K-fältspat. Det förefaller alltså som att K-fältspatomvandling i vissa zoner i somliga mineraliseringar inte bara är ett Proterozoiskt, primärt malmbildande fenomen utan också ett resultat av Fanerozoiska processer. Detta talar för att kraftfulla tektoniska rörelser under Fanerozoikum har åstadkommit en överprägling av Proterozoiska malmsystem.

Referens

Romer, R.L. & Wright, J.E., 1993: Lead mobilization during tectonic reactivation of the western Baltic shield. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57, 2555–2570.



Figur 1. U-Pb titanitåldrar för epigenetiska mineraliseringar i Svecofenniska bergarter, N. Sverige.

Studies of Proterozoic layered mafic intrusions in central Sweden – with special emphasis on internal structures, magmatic differentiation and mineralisations

SVEN ÅKE LARSON & FREDRIK HELLSTRÖM, Göteborgs universitetsal@geo.gu.se

The Ulvö Dolerite Complex

The Ulvö Dolerite Complex of east central Sweden consists of a series of ~1.25 Ga dolerite lopoliths of transitional to alkali-olivine basaltic affinity. They intruded Palaeo- and Mesoproterozoic rocks of the Svecofennian domain. The lopolith at Norra Ulvön consists of texturally and mineralogically distinguishable units: the Upper Zone (UZ), the Rhythmically Layered Zone (RZ), and the Lower Zone (LZ). Mineral chemistry suggests that LZ represents an early, magmatic pulse characterised by plagioclase and olivine cumulate crystals showing adcumulus growth, followed by a second magmatic pulse represented by RZ + UZ. UZ is characterised by early formed, normally zoned plagioclase, and cooled from the top, while RZ was cooled from the bottom of the intrusion. RZ can furthermore be subdivided into Rza and Rzb, both exhibiting a spectacular igneous layering. Rza consists of plagioclase-olivine-titanomagnetite cumulate and Rzb of plagioclase-augite-titanomagnetite cumulate. Cryptic layering is recognised as variation in mineral composition from the host-rock contact to the Rzb-UZ boundary that represents the last crystallised part of the magma. Examples of adcumulate growth are recognised as anhedral to subhedral crystals preferentially found in mesocratic layers while melanocratic layers contain more of euhedral cumulus crystals (orthocumulate). In particular, discordant layering, slumping and disturbance of layers indicate magma flow in RZ. Disequilibria are demonstrated by variation in chemical composition of adjacent olivine crystals and augite crystals respectively, indicating redistribution in the magma of these minerals. Plagioclase and augite crystals may show igneous lamination due to settling of crystals in the magma.

The Kläppsjö gabbro

The Kläppsjö gabbro, located 60 km north of Sollefteå in the county of Västernorrland (map 20H Junsele), is a tholeiitic mafic layered intrusion with a surface exposure of ~6 km along strike and ~3.5 km perpendicular. The Kläppsjö gabbro intruded metaturbidites of the Bothnian basin and is partly bordered by early and late orogenic Svecofennian granitoids. U-Pb SIMS zircon dating yields an emplacement age of 1875 ± 4 Ma, and the gabbro is thus contemporaneous with the Rockliden acid volcanics 10 km to the north, and extensive "early-orogenic" Svecofennian granitoid plutonism. Due to tectonic rotation, the gabbro is exposed in cross section, with a subvertical to steep north-east dipping igneous layering that is sub-parallel to the layering in the surrounding sediments.

The intrusion consists of ultramafic, gabbroic, leucogabbroic and ferrogabbroic mega-units, tens to hundreds of metres thick forming a c. 3 km thick layered sequence. The ultramafic rocks contain cumulus olivine and chromite enclosed in ortho- and clinopyroxene oikocrysts. In more evolved gabbroic rocks, augite joins olivine and plagioclase as a cumulus (granular) phase, and ferrogabbroic units contain in addition abundant ilmenite and apatite. Magmatic hornblende and biotite are minor interstitial phases, indicating that the parental magma was hydrous. The mineral chemistry of primary phases analysed in a profile across the stratigraphy shows a wide compositional span, recording the differentiation of the magma towards extreme iron-rich compositions, i.e. olivine ranges in composition with a maximum average forsterite content of 77.0 in the ultramafites down to 5.6 in the most evolved part in a ferrogabbroic unit.

Several abrupt changes in mineral chemistry to higher Mg# and An numbers associated with the ultramafic units indicate replenishments of new more primitive magma. The central and northern part of the intrusions is dominated by increasingly evolved olivine ferrogabbro. This trend is abruptly broken by injection of primitive magma into the evolved rocks manifested by a 300 m section of ultramafite, olivine gabbro to gabbro, and then a relative rapid decrease in Mg# and An num-

bers back to ferrogabbro upwards, suggesting that an injection of dense primitive liquid ponded on the chamber floor with very limited mixing or intruded into a partially/completely solidified crystal pile. A reverse trend in mineral chemistry towards a 10–15 m thick ultramafite in the southern part may however be explained by magma mixing. The magmatic evolution seen in mineral chemistry are also recorded in e.g. whole-rock Mg#, and the strong iron-enrichment typically for tholeiites is seen in an AFM diagram. The ultramafites is marked with high Cr and Ni contents, while Ti is low, and enriched in the liquid until the appearance of ferrogabbro (Fo=50), where abundant crystallisation of ilmenite started and where crystal accumulation lead to ilmenite rich (22 %) layers. Excluding the evolved ferrogabbros, multi-element N-MORB normalised spider diagrams show parallel patterns, with an enrichment of large ion lithophile elements, and depletion in high field strength elements. Positive anomalies of Pb and Sr, and negative anomalies for Ta, Nb and Zr indicate a subduction zone environment, but $\epsilon_{\text{Nd}(1875 \text{ Ma})}$ of -0.3 to -0.6 and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(1875 \text{ Ma})}$ of 0.7045 – 0.7051 suggest crustal contamination of a depleted mantle melt with greywacke sediments, containing an Archean component. The heavy REE's show a flat chondrite normalised profiles ($(\text{Gd}/\text{Lu})_{\text{CN}}=0.8$ – 1.3) with abundances 1–3 times N-MORB, whereas the light REE's have an inclined pattern with $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{CN}}$ of 2.3–4.4. Plagioclase accumulation is reflected by positive Eu anomalies. Low $(\text{La}/\text{Lu})_{\text{N}}$ of 1.5–3.4 suggests a relative high degree of mantle melting, excluding garnet in the source. The Kläppsjö gabbro contains ultramafic cumulates that have shown high PGE and Au concentrations in assay samples. Unlike the Stillwater and Bushveld complexes that have lower ultramafic sections and become progressively more evolved upward, the ultramafic cumulates of the Kläppsjö gabbro occur at two levels higher in the stratigraphy and are juxtaposed to much more evolved cumulates. Apatite in samples enriched in precious metals have unusually high $X_{\text{Ap}}^{\text{Cl}}$ of ~ 0.85 . Such Cl-rich apatites are very uncommon but are associated with the economically significant J-M and Merensky PGE stratiform “reef” horizons of the Stillwater and Bushveld complexes, respectively. However, the apatite below the mineralized horizons in the Kläppsjö gabbro are not Cl-rich as they are in the Stillwater and Bushveld complexes. Nor are the mineralized horizons clearly associated with mixing of variably evolved magmas as in the Bushveld complex. It is suggested that the mineralization in the Kläppsjö gabbro is the product of minor sulfide accumulation from basaltic liquids that are anomalously rich in PGE and Au. This enrichment might be associated with sulfide segregation in the plumbing system, but the high Cl contents of the apatite point to a source enriched in PGE, Au, and Cl. Multiple layered subsolidus corona textures are developed between olivine and plagioclase during amphibolite facies conditions. In some samples the ferromagnesian minerals are completely altered to amphiboles, and in the ultramafites there is an extensive alteration of olivine to serpentine. The composition of olivine and plagioclase controls the chemistry of the corona minerals, and different corona assemblages developed due to variations in the composition of primary phases. In primitive rocks, the reaction products consist outwards of orthopyroxene/cummingtonite, amphibole (pargasite-hastingsite) and (amphibole-spinel)_{symplectite}, whereas in the evolved ferrogabbro there is a development of an inner rim of cummingtonite next to the olivine and an outer corona of pargasite-hastingsite and almandine garnet. For intermediate compositions there is an additional corona of (anorthite-hornblende)_{symplectite} outside the (amphibole-spinel)_{symplectite}. Thermobarometric calculations of the assemblage garnet, amphibole and plagioclase in ferrogabbroic units yield an average pressure and temperature of 5.2 ± 1.2 kbar and $671 \pm 59^\circ\text{C}$ (1σ ; $n=16$) using TWEEQU. The geobarometer of Hammarström and Zen (1986) using the Al content of magmatic amphibole, also yields a mean pressure of 5.2 ± 1.1 kbar (1σ ; $n=64$) for primary hornblende in the Kläppsjö gabbro. This suggests that the olivine-plagioclase coronas formed during isobaric cooling, but as some samples completely lack primary phases, these reactions are probably associated with regional metamorphism, occurring ~ 30 Ma after the emplacement of the intrusion.

The Hoting gabbro

The Hoting gabbro, located in the northern part of the Jämtland county (map 21G Dorotea), is one of the largest mafic layered intrusions in Sweden, with a diameter of 10–11 km and a 11 km long off-

shoot towards the south. SIMS U-Pb zircon data gives a concordia age of 1786 ± 5 Ma, interpreted to date the intrusion, which is contemporaneous with emplacement of the Revsund granites, i.e. the early phase of the Transscandinavian Igneous Belt. A “Revsund age” is also supported by mingling textures between fine-grained marginal rocks of the Hoting gabbro and Revsund granite. Three highly discordant points define the lower intercept of the regression line in the concordia diagram to an age of 453 ± 19 Ma, which corresponds in time with the main Scandian period of Caledonian orogenic activity. The discordance is positively correlated with uranium content, and is suggested to be caused by an episodic leaching of Pb from metamict zircon domains by hydrothermal fluids during a Caledonian low thermal overprint that affected the foreland region. The rounded, main part of the intrusion has a shape of a funnel, where the magmatic layering is concentrically developed with steep dipping outer layers, and flat layering in the central part. The aeromagnetic map suggests emplacement in two (?) pulses, with a (younger?) rounded structure, ~6 km in diameter in the south-central part, consisting of olivine bearing leucogabbro to anorthosite. In the northern part increasingly evolved two pyroxene oxide gabbros with minor interstitial K-feldspar dominate towards a fine-grained marginal zone. REE chondrite normalised spider diagrams show parallel profiles, but the marginal rocks and pyroxene rich gabbros have flatter patterns with $(La/Lu)_N$ of 1.8–5.2 with no or minor Eu anomalies, compared to the plagioclase-rich olivine bearing rocks that have $(La/Lu)_N = 7.6–11.3$ and strong positive Eu anomalies. Positive anomalies of Pb and negative anomalies for Ta, Nb and Zr in multi-element N-MORB normalised spider diagrams suggest a subduction zone environment. $\epsilon_{Nd(1786\text{ Ma})}$ of 1.4 to 1.5 and $^{87}Sr/^{86}Sr_{(1786\text{ Ma})}$ of 0.7027–0.7030 indicate minor crustal contamination, and a depleted mantle source.

The boundary zone between SW- and SE-Sweden south of lake Vättern: new insight and implications for applied geology

ROLAND GORBATSHEV & SVETLANA BOGDANOVA, Lund University
roland.sveta@bredband.net

After a period of preparatory study, work on the “Protogine Zone” (PZ) boundary between SW and SE Sweden was intensified in 2001–2002 within the framework of the present SGU project. The results reported here are based principally on the map areas Gislaved NO and SO, Nässjö NV and SV, and Väckjö NO, in addition to which adjoining parts of the Ulricehamn SO, Jönköping SV, Gislaved NV and SV, and Värnamo NO areas were also surveyed. Interaction with geophysics was important throughout, while isotope-geological studies were carried out in collaboration with specialists. A dating of the TIB-2 Barnarp granite south of Jönköping to 1.69–1.70 Ga was reported in 2002. Current preliminary results obtained by Ulf Söderlund (Lund and Tucson, AZ) concern the ages of meta-volcanics east and west of the PZ. Other isotopic work is in progress in regard to granites in the terrain adjoining the PZ in the west.

Rocks and tectonics in the east

The dominant rock components to the east of the PZ in Småland are the tonalitic-granodioritic plutonics of 1.82–1.84 Ga age considered by Mansfeld (1996, *Prec.Res.* 77) and TIB-1 granitoids with ages between c. 1.81 and 1.76 Ga. These associate with sedimentary rocks as well as felsic and mafic meta-volcanics. Importantly, the tectonic grain and the belt-shape occurrence areas of the different lithologies mostly trend E–W to NW–SE despite the overall N–S extent of the TIB. As has been confirmed geophysically by Lund et al. (2001, *Tectonophys.* 339), that pattern reflects post-Svecofennian accretionary crustal growth toward the present south to southwest. TIB-2 plutons occur to the east of the PZ but do not appear to be very numerous and are always sharply cross-cutting.

TIB-2 intrusions, TIB-1 relics and some Sveconorwegian structures along the PZ

Towards the west, the E–W directed structures in SE-Sweden are cut abruptly by the TIB-2 Barnarp granite extending ca. 70 km in a N–S direction within the PZ area. Farther southeast there are other similarly trending TIB-2 intrusions, e.g. along the valley of Lake Rusken and in the vicinity of Alvesta. The intrusive contact of the Barnarp granite meanders across the previously assumed eastern boundary of the PZ, which in more recent publications is also depicted as the Sveconorwegian Front. Breccias of TIB-1 plutonics and of supracrustal rocks characteristic of SE Sweden are found within the TIB-2 massifs. To the east and southeast of Värnamo, large segments of such rocks with well preserved E–W tectonic grain alternate with NS-trending belts of TIB-2 granite.

Sveconorwegian deformation zones in the PZ area overprint c. 1.2 Ga syenites and dolerites but are earlier than the rifting related to the Lake Vättern basin. They include eastward thrusts with associated wide but rather short transpressional rock lenses, and sub-vertical zones of faulting that mark metamorphic breaks and steep gradients. The latter were created by western-side-up displacement. In contrast, there are no signs of the previously sometimes assumed giant zones of thrusting marking the juxtaposition of very thick slices of basement rocks.

Rocks and structures to the west of the PZ

The western contact of the Barnarp granite is largely marked by the c. 1.2 Ga Vaggeryd syenite, but to the southwest of Jönköping that granite has been intruded by another, still undated granite of apparent SW-Swedish affinity. Also the western boundary of the Barnarp granite is therefore not a thrust limit but rather igneous in character.

Farther west, E–W trending structures reappear in seeming analogy with the structures east of the PZ (e.g. Gorbatshev 1980, *GFF* 102; Larson et al. 1986, *Prec. Res.* 31), but all the presently avail-

lable ages (e.g. Welin 1994, GFF 116; Connelly et al. 1996, Geol. Soc. Spec. Ppr. 112) are c. 100 Ma younger than those of the TIB-1 rocks in SE-Sweden. Whether an older basement is present is still conjectural. The predominant rocks are plutonics, but their lithologies range from tonalitic to potassic-granitic and are thus much more diversified and more calc-alkaline than those of the TIB-2 group. Attribution of these rocks to the TIB is therefore highly questionable.

A new finding is the abundance of supracrustal, mainly felsic volcanic rocks at least in the area between the PZ and the Nissan lineament. While these rocks are lithologically similar to some of the meta-volcanics east of the PZ, their preliminary U-Pb zircon ages range slightly below 1.70 Ga. Other preliminary age results may possibly indicate that the boundary between the c. 1.7 and 1.8 Ga volcanics extends obliquely across the PZ in the area between Lakes Rymmen and Rusken, map sheets Nässjö SV and Växjö NV. This may recall the Gothian-Front hypothesis of Larson (1996, GFF 118). However, so far we have found no signs of a major late Palaeoproterozoic front of thrusting, rather only of an igneous-province boundary.

Dolerites as structural indicators

Despite previous knowledge of “hyperites” and dolerites of the Protogine Zone Group (PZDG), one surprising and tectonically important result is the discovery of scores of major dolerite dykes, dolerite sheets and mafic plugs along the PZ and in the adjoining region at least as far west as the Nissan lineament. Large swarms of major dykes, some of the individual NS-trending dykes reaching lengths of 30 km, occur particularly in the western half and the immediate western foreland of the PZ. While many of the mafic intrusions have not yet been dated, age indications of c. 1.52, 1.40 and 1.18–1.20 Ga allow the discrimination between various phases of deformation and metamorphism. One conclusion is that the configurations of the various dykes and dyke swarms still persist despite the high, westwards increasing grades of Sveconorwegian metamorphism.

One of the principal conclusions of the present study is that the PZ boundary between SW and SE Sweden took a long time and many phases of deformation to form. Even apart from the conjectural issues of a “Gothian Front” and regional thrusting in the late Palaeoproterozoic (cf. Larson et al. 1990, Geol. Ass Canada Sp. Ppr. 38), one of the earliest events was the intrusion of large plutons of TIB-2 granites along the future PZ. Then followed tensional events at c. 1.5 and 1.2 Ga, the latter marked by the strict alignment of several syenite intrusions and major mafic-dyke swarms with the PZ, and its coincidence with the eastern limit of PZDG magmatism. During the Sveconorwegian orogeny, thrusting and subsequent uplift occurred, while “Vendian” rifting formed many of the faults, which by some previous workers were understood as the limits of “PZ-deformation”.

In consequence, the tectonic belt to the south of Jönköping is not solely a zone of frontal Sveconorwegian deformation, and the PZ concept appears far from obsolete and unnecessary.

In relationship to the tasks of applied geology, it is important that the principal structures involving permeability, instability and other “georisks” cannot be defined in terms of mainly one or two very large zones of weakness, a “Sveconorwegian Front” and, possibly, a different “PZ”-thrust farther west.

Svecofennian sedimentary record of northern Sweden

RISTO KUMPULAINEN, Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet
Risto.Kumpulainen@geo.su.se

The Svecofennian sedimentary record (<1.88 Ga) contains isolated sedimentary successions in northern Sweden and include the following (1) groups: Maattavaara, Upper Hauki, Snavva-Sjöfallet, Dobblon and Ledfat, and (2) unnamed units in the "Bure lineament" NO om Sorsele. These successions rest on some older volcanic rocks except in the Dobblon area, where the basement is composed of Revsund granit. In all areas, except in Ledfat, poorly sorted, coarse-clastic rocks are common in the lower part of the succession. These coarse-clastic units are either debris-flow deposits or traction deposits settled in an alluvial environment. Cross-bedded and horizontally bedded sandstones intercalate the coarser beds and dominate most of the successions. Mudstones are less common, very minor or absent.

Large portions of the Upper Hauki and Snavva-Sjöfallet successions are characterised by very thickly bedded, medium-grained to coarse-grained arkoses, which form thickly to very thickly cross-bedded units up to more 5 m in thickness. These units were most probably formed by migrating dune complexes in a shallow shelf setting, rather than in a fluvial setting. Some of the bounding surfaces between the various dune complexes also contain thin conglomerate beds, in which the clast material is composed of the porphyries, granitoids, arkoses, quartzites (incl. the greenish Tjärro quartzite), mud clasts and quartz. The upper part of the Snavva-Sjöfallet succession, which is exposed in Stora Sjöfallet is dominated by mudstones to fine sandstones. The sandy units are commonly ripple-cross-laminated to horizontally laminated. The succession is subdivided into smaller units by a number of cross-bedded channel-fill complexes. Many of the mudstone beds are dissected by either mudcracks or sandstone dykes. This upper part of the succession was deposited in either a mud flat, along a sea shore or a very flat flood basin.

The sedimentary succession in Dobblon is composed of a conglomerate-dominated lower part, which grades upwards to a medium-grained arkose. This clastic succession is intercalated by felsic porphyries and tuffitic rocks. It is overlain by a rhyolitic, ignimbritic porphyry. The conglomerates are composed of either debris-flow type of units or sorted traction-deposit type of units. Additionally, distinctly laminated fine-grained unit are common also in very lowermost part of the conglomerate succession. The sandstone part of the succession is dominated by horizontally laminated and cross-bedded sandstones. These characteristics support the interpretation that the succession was deposited in alluvial to fluvial setting. The distinctly-laminated, fine-grained units, some of which are cross-laminated, in the very basal part of the succession exclude the possibility, that this succession would have any relation to an impact crater.

The Ledfat succession forms an essentially coarsening-upwards sequence, beginning with fine grained units of distal character. The distal units are then overlain by successively more proximal deposits in an alluvial setting. The conglomeratic upper part of the succession has been previously subdivided into two different units. Sedimentologically, this is not important. It only means that another source became available for erosion.

These scattered, late Svecofennian, sandstone-dominated, successions probably formed a more or less continuous sedimentary cover in northern Sweden and northern Finland. Differences in stratigraphies and facies types reflect deposition either in fault-controlled, non-uniformly subsiding basins or basins peripheral to a Svekokarelian thrust belt.

Interorogen magmatism i Göteborgsområdet och dess geodynamiska signifikans

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

Projektet var två-årigt och syftade till ”att fullfölja karakteriseringen av Göteborgs-regionens interorogena intrusioner” och särskilt de ”som genom sin spatiala utbredning markerar dåtida spänningsfält i krustan”.

Projektets övergripande mål var ”att utveckla förklaringsmodellerna för Västsveriges mycket omfattande interorogena magmatism (-1.51–1.20 Ga)”.

Preliminära resultat och geodynamiska sammanhang

A sizeable proto-Baltica formed during Svecofennian orogenesis (1.91–1.86 Ga). Post-Svecofennian crustal growth persisted toward the southwest and later west for ~300 m.y., mainly by oceanward-stepping subduction resulting in a near-continuous sequence of westward younging crust. These convergent-margin processes were successively replaced by inboard ”A-type” magmatism that was episodic, largely bimodal and widespread -- albeit with a general progression toward the west during the 1.66–1.20 Ga interval. The early studied rapakivi magmatism along the Finnish Gulf as well as assumed satellite bodies in eastern Sweden was long assigned to anorogenic processes, but other models are proposed to account for the remarkable endurance (460 m.y.) and complex spatial progression over time for these mantle-derived episodes.

This study provides new geochemistry and U-Pb data from a complex suite of gabbro-dolerite-granite intrusions in SW Sweden. Though provisional, available results allow distinction of a remarkably linear array of bimodal magmatism at ~1.33–1.30 Ga. The magmatic evolution was complex both locally and along the 200 km long section studied.

In all, 10 episodes of bimodal intracontinental ”A-type” magmatism are distinguished, most lasting for 25–30 Ma and some showing marked linear arrays. This study clarifies that the intracontinental 1.66–1.20 Ga magmatism was not only linear during early voluminous episodes, as deduced from the 1.58–1.56 Ga Åland-Riga suite, but also during much later episodes that apparently were less voluminous. Moreover, all known linear trends for these intracontinental episodes are subparallel to the westward younging, subduction-related growth of Baltica, which suggests a trigger-mechanism for the recurring mantle melting and consequent bimodal magmatism that rather was related to convergent-margin processes than to any known anorogenic process.

Rocknebystrukturen norr om Kalmar

ÅKE BRUUN & LARS KARIS, Sveriges geologiska undersökning
ake.bruun@sgu.se

Ett av resultaten från SGUs flygburna geofysiska mätningar under år 2000 var upptäckten av en hittills okänd rund lågmagnetisk struktur norr om Kalmar. Strukturen finns översiktligt beskriven som "Dramat i Rocknebys Fagerhult, Småland" (Aaro & Byström 2001). I syfte att få ytterligare upplysningar om de geologiska förhållandena i den cirkulära dubbelstrukturen ställde SGU interna forskningsmedel till förfogande. Medlen avsågs att till stor del användas till tre kärnboringar, en i strukturens centrala del och två i perifera partier. Boringen i den centrala delen beräknades drivas till ca 150 m och de övriga till betydligt mindre djup, ca 50 m.

Boringarna påbörjades 02-10-30 med etablering av bh 1. Bh 1 avslutades 02-11-06 och bh 2 etablerades 02-11-07, bh 3 drevs mellan 02-11-13 och 02-11-17, varefter kampanjen bröts. Bh1 placerades nära eller strax norr om den rundade Rocknebystrukturens centrum (1532065/6304650). Bh 2 sattes i den inre ringens södra del. (1532326/6302161). Bh 3 sattes i strukturens nordöstra del, i den yttre tunna ringen, på militärspråk ungefär kl. 2 (1534460/6304560).

Resultatet av boringarna visar att de tre kärnorna omfattar en mindre del kambrisk sandsten och en mera omfattande del av kristallint underlag, i huvudsak en medelkornig röd granit ("Smålandsgranit"), som genomgående visade sig vara lågmagnetisk.

Bh1, Oppeboda-1, (jord 5,25 m) innehåller 3,7 m sandsten och ca 45 m röd medelkornig granit, som är väl sammanhållen med få sprickor. Några sprickzoner innehåller bl.a. pyrit.

Bh 2, Oppeboda-2, (jord 13,2 m) omfattar ca 8 m sandsten av samma typ som i bh 1 och 52 m granit. Graniten är kraftigt vittrad till ca 4,5 m djup. Graniten är övervägande medelkornig men innehåller ställvis finkorniga tunna partier.

Bh 3, Bröttorp-1, (jord 4,90) innehåller 8 m sandsten och ca. 42 m medelkornig granit. Sandstenen har ett rikare inslag av röda lager än de två västligare kärnorna. Graniten innehåller ett tiotal tunna inslag av finkornig granit. Såväl sandsten som granit är betydligt mera genomdragna av spricksystem och läkta sprickor än de två västligare kärnorna. Preknitläkta sprickor är vanliga. Sprickfyllnader i sandstenen och graniten innehåller sulfidmineral, i huvudsak pyrit.

Preliminära resultat av undersökningen

De tre boringarna i ringen uppvisar förvånansvärt likartad utbildning av berggrunden. Den kärna som i en astroblemlösning kunde förväntas uppvisa högst påverkansgrad är i själva verket den med den bäst bevarade bergarten. Boring Oppeboda-2 har ett markant vittrat parti som underlag till sandstenen men är i övrigt bergartsmässigt lik de två övriga.

Den tydligast avvikande kärnan är Bröttorp-1 med tydliga spår av spröd deformation som sannolikt är av både proterozoisk och paleozoisk ålder. Denna kärna representerar strukturens nordöstra yttre del, inte centrum.

Resultaten visar att astroblemhypotesen kan avvisas. Även ett tidigproterozoiskt nedslag skulle ha lämnat något spår i någon av borrhärnorna i området.

Vid genomgången av borrhärnorna påträffades tunna sprickfyllnader med förhöjda strålningsnivåer och en XRF-undersökning av ett sådant prov, Oppeboda-2, 58,9 m, visade att sprickan innehöll fluorit och uraninit.

Lösningen på problemet med den väl rundade Rocknebystrukturen måste sökas i en noggrannare undersökning av bergarternas kristallografiska, fysikaliska och kemiska egenskaper. En sådan undersökning kunde av resursskäl genomföras först under den första delen av 2003 och sammanställningen av resultaten är ännu inte tillgänglig.

Deformationens inverkan på bergmaterialegenskaper

LARS PERSSON, MATTIAS GÖRANSSON, LUTZ KÜBLER & CARL-HENRIC WAHLGREN, Sveriges geologiska undersökning
lars.persson@sgu.se

Under 1999 och 2000 genomfördes FoU-projektet "Bergkvalitetens variation över plastiska deformationszoner" med medel från SGU. Inom detta projekt provtogs granitoider i Kristinhamnsområdet. Resultaten från detta projekt var av vikt och har presenterats vid SGUs FoU-dagar och vid den internationella konferensen "Aggregate 2001" i Helsingfors i augusti 2001. Materialet till en publikation är sänt till IAEGs tidskrift "Bulletin of Engineering Geology and the Environment". Ett fortsatt 3-årsprojekt beviljades med start från 2002.

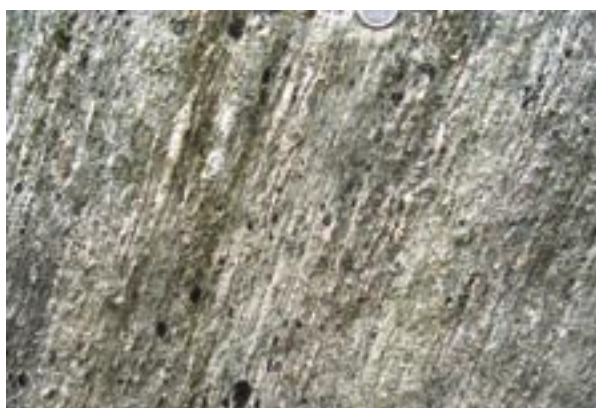
Bergmassans egenskaper och styrka är av stor betydelse vid byggande i berg och vid utnyttjande av berggrunden som byggnadsmaterial. Diskontinuiteter i bergmassan innebär att berggrundsmaterialet är strukturellt heterogent. Dessa utgörs exempelvis av spröda strukturer såsom sprickor i olika storlekar, från mikrosprickor till regionala sprickzoner och förkastningar. Vidare är plastiska plan- och linjärstrukturer av olika metamorf karaktär, t.ex. skiffrihet, gnejsighet, stänglighet, etc. av betydelse. Spröd deformation är ur bergbyggnadssynpunkt en "destruktiv" process, medan plastisk deformation beroende på karaktären kan vara både positiv och negativ, dvs. berggrundens byggnadstekniska egenskaper kan både förbättras och försämrats. Urberget i Sverige har under årmiljonernas gång genomgått en rad processer vilka är av betydelse för bergets tekniska egenskaper. Tidigt anlagda plastiska zoner, i vissa fall i samband med bergartsbildningen, kan ha reaktiverats ett flertal gånger, både under plastiska och spröda förhållanden.

En studie av förändringen av den tekniska kvaliteten av några utvalda isotropa/massformiga samt intilliggande bergarter som genomgått olika grad av deformation och omvandling görs. Provtagning sker i deformationszoner. Bergarterna beskrivs vid dessa lokaler och provtagning för petrografisk, kemisk och teknisk analys sker. Kulkvarns-, Los Angeles-, flisighets-, sprödhets- och ASR-test görs. UCS (uniaxial compressive strength), ultraljudtest och magnetisk susceptibilitetsanisotropi utförs.

Provtagning utfördes under 2002 och då i två områden, nämligen söder om Eskilstuna och nära Ödeshög i Östergötland. I Eskilstunaområdet togs fem prover i en svit av gnejsiga graniter (granitoider) och i Ödeshögsområdet sju prover i olika starkt deformerad, porfyrisk granit (granitoid). De senare tillhör de s.k. Smålandsgraniterna. Provtagning och analys har utförts under 2002, medan tolkning av analysresultat och viss resultatsammanställning kommer att ske under 2003. Den slutliga sammanställningen görs under 2004.



Figur 1. Porfyrisk granit, Ödeshög, LEP02003



Figur 2. Deformerad, porfyrisk granit, Ödeshög, LEP02002

Adresser till externa föredragshållare:

Rodney Allen, Luleå tekniska universitet, Avdelningen för malmgeologi, 971 87 Luleå

Kjell Billström, Naturhistoriska riksmuseet, Box 50007, 104 05 Stockholm

Svetlana Bogdanova, Geologiska Institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 13, 223 62 Lund

Roland Gorbatshev, Geologiska Institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 13, 223 62 Lund

Maria Greger, Stockholms universitet, Botaniska Institutionen, 106 91 Stockholm

Fredrik Hellström, Göteborgs universitet, Institutionen för geovetenskaper, Box 460,
405 30 Göteborg

Risto Kumpulainen, Inst för Geologi och Geokemi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm

Sven Åke Larsson, Göteborgs universitet, Institutionen för geovetenskaper, Box 460,
405 30 Göteborg

Riitta Lindström, Institutionen för Mark- och Vattenteknik, Kungliga Tekniska Högskolan,
100 44 Stockholm

Olof Martinsson, Luleå tekniska universitet, Avdelningen för malmgeologi, 971 87 Luleå

Jens-Ove Näslund, Institutionen för Naturgeografi och Kvartärgeologi, Stockholms universitet,
106 91 Stockholm

Joyanto Routh, Inst. för Geologi och Geokemi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm

Ambujom Saraswathy, Inst. för Geologi och Geokemi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm

Roger Thunvik, Institutionen för Mark- och Vattenteknik, Kungliga Tekniska Högskolan,
100 44 Stockholm

Karl-Inge Åhäll, Karlstads universitet, Geovetenskap, Natur och Miljö, 651 88 Karlstad