



Sveriges geologiska undersökning

FoU-seminarium vid SGU
9 mars 2005

Dokumentation

FoU-seminarium vid SGU 9 mars 2005 – dokumentation

SGU-rapport
2005:7

SGU-rapport
2005:7

FoU-seminarium vid SGU 9 mars 2005

Dokumentation

Sveriges geologiska undersökning
Forskning och Utveckling

SGU-rapport 2005:7

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 långsiktig 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.

För 2004 inlämnades 45 nya ansökningar på totalt 19 MSEK, vilket visar på den stora betydelse stödet har inom forskarvärlden. Av dessa beviljades 16 projekt vid universitet och högskolor forskningsmedel från SGU. Intresset för stödet är liksom tidigare jämnt fördelat över berörda universitet och högskolor i landet.

Tolv forskningsprojekt inom ramen för detta stöd har slutförts under året och dokumenterats i särskilda rapporter. Till detta kommer ett antal lägesrapporter som inlämnats för pågående projekt. Samtliga slutförda projekt har lett till värdefulla resultat för SGU vilka kunnat implementeras i verksamheten.

Den av SGU egenfinansierade forsknings- och utvecklingsverksamheten har bedrivits sedan budgetåret 1989/90 inom ett särskilt program och omfattar i dag ca 11 miljoner kronor per år. Verksamheten bedrivs i projektform, efter ansökan från enskilda medarbetare och bedömning av en forskningsgrupp bestående av fackenheternas 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.

Uppsala 2005-03-09

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

Onsdag 9 mars 2005

Ordförande: Olle Selinus

- 09.00–09.15 ÖPPNING
Naz Ahmed Shaikh, SGU
- 09.15–09.40 Jämförande undersökning av SGUs och Naturvårdsverkets rutiner för användning av näckmossa
Sten-Åke Ohlsson, SGU
- 09.40–10.05 Organiska tennföreningar i sediment
Ingemar Cato, SGU
- 10.05–10.30 Molybden och Volfram i Svenska jordar – förekomstformer och löslighet
Jon Petter Gustafsson, Kungliga Tekniska Högskolan
- 10.30–10.45 KAFFE
- 10.45–11.10 Geochemical Baseline Mapping
Kaj Lax, SGU
- 11.10–11.35 Uppföljning av miljömålet *Grundvatten av god kvalitet* med hjälp av Grundvattendatabasen
Lena Maxe, SGU
- 11.35–12.00 Radioaktivitet i dricksvatten
Britt-Mari Ek, SGU
- 12.00–12.15 DISKUSSION
12.15–13.0 LUNCH

Ordförande: Dag Fredriksson

- 13.00–13.25 Spreading of multi-phase pollution in heterogenous subsurface environments
Auli Niemi, Uppsala Universitet
- 13.25–13.50 Prognostisering av sten och blockhalter i morän
Tore Påsse, SGU
- 13.50–14.15 Mineralfördelning och specifik yta i profiler av svallad morän
Sven Snäll, SGU
- 14.15–14.40 Reviderad stratigrafisk indelning av Gotlands äldre berggrund
Lennart Jeppsson, Lunds Universitet
- 14.40–14.55 KAFFE
- 14.55–15.20 Age- and P-T paths of metamorphism in the Bergslagen Region, Southern Sweden
Ulf B Andersson, Uppsala Universitet
- 15.20–15.45 Karakterisering av sprickzoner med den nya Enviro MT tekniken
Laust B Pedersen, Uppsala Universitet
- 15.45–16.00 DISKUSSION

Jämförande undersökning av SGUs och Naturvårdsverkets rutiner för användning av näckmossa, *Fontinalis antipyretica*

STEN-ÅKE OHLSSON, Sveriges geologiska undersökning, Uppsala
sten-ake.ohlsson@sgu.se

Att analysera växtmaterial i syfte att mäta metaller i ytvatten är en metod som används såväl internationellt som av SGU och Naturvårdsverket. SGU bedriver en s.k. biogeokemisk kartläggning av metallhalten i landets små och medelstora vattendrag med rutiner som har likheter med Naturvårdsverkets rekommendationer för att mäta och tillståndsklassa ytvattendrag. SGU avser med detta projekt att undersöka förutsättningarna till att resultaten från de två metoderna skall bli jämförbara.

Resultaten i undersökningen är från två studier i fält från 2000 och 2003. Naturvårdsverkets metod bygger i första hand på näckmossa (*Fontinalis antipyretica*) som placeras ut i vattendrag (transplantat) under en period av fyra veckor. SGUs biogeokemiska kartläggning insamlar naturligt förekommande växtmaterial i vattendragen och där näckmossa ingår är detta förstahandsalternativet. Om näckmossa saknas används bl.a. starrötter och därför har provtypen fått samlingsnamnet bäckvattenväxter.

När de båda metoderna använder sig av likvärdig analysteknik och analysresultaten presenteras i torr-vikt erhålls en god överensstämmelse för flertalet metaller. Erfarenheter av Naturvårdsverkets metod har också inhämtats från de urbana undersökningar som SGU påbörjade i slutet av 1990-talet. Transplantat av näckmossa är ofta enda alternativet när tätorter ingår i den biogeokemiska kartläggningen.

Organiska tennföreningar – ett miljöproblem i svenska kust- och havsområden

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

Organiska tennföreningar, däribland tributyltenn (TBT), har använts som ett gift med biocidverkan i bl.a. träskyddsmedel och textilier, men framförallt är det känt som en tillsats i båtbottnfärger med syfte att förhindra påväxt av t.ex. alger och havstulpaner. Dessa s.k. antifoulingfärger började nyttjas under 1960-talet och användningen på fartyg och fritidsbåtar, diverse marina konstruktioner och fisknät har medfört en omfattande spridning av TBT i den marina miljön runt om i världen. Under 1995 uppgick den årliga världsproduktionen av organiska tennföreningar till ofattbara 35 000 ton. Föreningarna har karakteriserats som en av de mest giftiga substanser som släppts ut i miljön, fullt jämförbara med dioxiner (Müller et al. 1989, Stewart et al. 1992). Redan i mycket små doser ger föreningarna upphov till allvarliga skador på det marina livet.

TBT utvecklades ursprungligen för att få bukt med den tropiska magsjukdomen *bilharzia* (snäckfeber) som orsakas av sugmaskar av släktet *Schistosoma*. Med giftet försökte man bekämpa de värdsnäckor som fungerar som mellanvärd för parasitens larver. Organiska tennföreningar hittas numera överallt i ekosystemet från plankton, alger, musslor, snäckor, fiskar, fåglar till däggdjur däribland havsuttrar, sälar och valar (bl.a. Kannan et al. 1997).

TBT ändrar och stör det endokrina (körtel-) systemet och dess produktion av de hormoner som styr utvecklingen, tillväxten och fortplantningen hos djur och människor. Ämnet blockerar bl.a. aromatasenzymer som svarar för omvandlingen av det manliga hormonet testosteron till det kvinnliga hormonet östrogen (bl.a. Matthiessen & Gibbs 1998). Detta resulterar i att testosteron lagras upp till abnormt höga nivåer vilket medför att honorna parallellt med sina egna könsorgan utvecklar manliga könsorgan (s.k. imposex) eller att de omvandlar sina egna könsorgan till manliga sådana (s.k. intersex); förhållanden som leder till minskad reproduktionskapacitet och med tiden sterilitet (bl.a. Bernes 2000). Förutom dessa irreversibla effekter har t.ex. skalförtjockning, immunotoxiska störningar, beteenderubbningar och omfattande dödlighet rapporterats.

De första tecknen på ekotoxikologiska effekter kom i slutet på 1970-talet från den franska musselindustrin i Arachon Bay. Bukten hyser ett tiotal marinor med en trafik på över 10 000 båtar under sommarhalvåret. Mellan 1975 och 1982 minskade musselproduktionen avsevärt. Laboratoriestudier visade att mussellarverna endast kunde överleva fem dagar i buktens TBT-haltiga vatten.

Som ett resultat av dessa mycket allvarliga effekter har sedan mitten av 1980-talet användningen av TBT-baserade färger i många länder förbjudits för applicering på båtar (<25 m) samt på utrustning för akvatisk odling och fångst (nät). I Sverige infördes motsvarande användningsförbud först 1989. Färgerna är dock fortfarande tillåtna på större båtar och fartyg i oceanfart. Den internationella sjöfartsorganisationen (IMO) antog den 5 oktober 2001 en juridiskt bindande internationell konvention om kontroll av skadliga antifoulingssystem på fartyg (AFS-konventionen). Konventionen innebär ett internationellt förbud mot påmålning av organiska tennföreningar (bl.a. TBT) på fartyg från och med den 1 januari 2003, och ett totalförbud mot förekomsten av organiska tennföreningar på fartyg från och med den 1 januari 2008. För att detta ska träda i kraft krävs dock att 25 % av medlemsländerna skriver på, för närvarande (februari 2005) har dock bara ca 10 % skrivit under resolutionen. Inom EU har man dock sedan juli 2003 förbjudits användningen av dessa färger på alla inom medlemsstaterna registrerade båtar och fartyg oavsett storlek.

Detta innebär ändå inte att föreningarna inom överskådlig tid försvinner ur den marina miljön eftersom organiska tennföreningar binds starkt till partiklar i vattenmassan och till bottensedimenten. Frigörelsen av TBT och dess nedbrytningsprodukter (mono- och dibutyltenn) från förorenade sediment utgör därmed en sekundär föroreningskälla för det marina livet.

Enligt EUs vattendirektiv är organiska tennföreningar ett av de högst prioriterade ämnena att övervaka och åtgärda i miljön. Av SGU genomförda efterforskningar 2002 visade att data över organiska tennföreningar i stort sett saknades från svenska havsområden. Detta blev startsignalen för ett SGU-finansierat pro-

jekt som startade sommaren 2002 med syfte att kartlägga förekomsten och spridningen av organiska tennföreningar i svenska havssediment (Cato 2003 a, b). Fram till idag har cirka 150 sedimentprover från svenska kust- och havsområden analyserats med avseende på dessa föreningar.

Tributyltenn (TBT) och dess nedbrytningsprodukter förekom skrämmande nog i så gott som alla prover. Koncentrationen varierade från <1 µg/kg torrs substans till anmärkningsvärt höga 1 700 µg/kg ts. Enligt norska bedömningsgrunder är en halt på mer än 100 µg/kg ts att betrakta som mycket hög (klass 5 enligt SFT).

Föreliggande undersökning visar att de högsta koncentrationerna påträffas i hamnar, marinor och invid skeppsvarv (t.ex. Trelleborg, Göteborg, Uddevalla och Scanraffs produktkaj i Brofjorden) och utanför fritidsbåtsvarv (t.ex. Studseröd i Saltkällefjorden). Lägre men fortfarande höga koncentrationer påträffades i örlogsbaser (Cato et al. 2002). Anmärkningsvärt är att den högsta halten påträffades i norra Europas största marina, Björlanda Kile vid Nordre älv, med plats för 2 300 båtar.

Förutom dessa förorenade områden kunde förhöjda halter påträffas i Stockholms och Bohuskustens skärgårdar, i synnerhet i farlederna och områden som frekvent trafikerades av båtar.

I jämförelse med andra länder är halterna av TBT i de studerade svenska hamnarna och marinorna anmärkningsvärt nog långt över de nivåer som rapporterats från t.ex. Rotterdams hamn. De ligger snarare i nivå med de högsta halter som uppmätts i brittiska, Nya Zeeländska och amerikanska hamnar (bl.a. Thomas et al. 2000).

Av övriga i undersökningen studerade tennföreningar, t.ex. tetrabutyltenn och mono-, di- och trifenyлтenn visade det sig att dessa i allmänhet låg under detektionsgränsen, men i några fall, speciellt i kustnära områden och i hamnar kunde framförallt olika fenyltennföreningar (PhT) påvisas.

SGUs undersökning har så här långt påvisat och lyft fram ett allvarligt och förbisett problem i svenska havsområden. Resultaten visar att i synnerhet de studerade hamnarna och marinorna är kraftigt förorenade med avseende på TBT.

Digniteten av problemet har visat sig än större genom de gemensamma undersökningar som SGU och Institutionen för Marin ekologi vid Göteborgs universitet genomfört under 2004 med bidrag från Naturvårdsverket. Resultaten från de senare undersökningarna visar att den studerade nätsnäckan *Nassarius nitidus* i alla marinor och hamnar med högre TBT-halter utvecklade imposex. I två av 17 marinor (Björlanda Kile och vid Amundön) kunde över huvudtaget inga nätsnäckor påträffas, vilket indikerar att arten antingen skyr miljön på grund av höga TBT-halter eller i värsta fall tappat förmågan att reproducera sig och därför lokalt dött ut till följd av TBT-förorening (Magnusson et al. 2005).

Inom ramen för den nationella miljöövervakningen, där sedimenten sedan 2003 på uppdrag av Naturvårdsverket övervakas av SGU på 16 fasta utsjöstationer, har de organiska tennföreningarnas spridning långt ut i havet dokumenterats. Halter på upp till 110 µg/kg ts påträffas mitt ute i norra Östersjön (Cato under arbete).

De genomförda undersökningarna visar med all tydlighet att marinor och hamnar måste betraktas som allvarliga sekundära punktkällor med risk för en fortsatt kontaminering av det marina ekosystemet för flera årtionden framåt. Detta beroende på att sediment i hamnar och marinor ständigt resuspenderas genom propellerströmmar och av den tryckvåg som båt- och fartygsskrov åstadkommer vid gång – ett förhållande som i sin tur resulterar i en fortlöpande och oönskad spridning av TBT till utanförliggande kust- och havsområden. Till detta kommer spridningen genom fartygstrafiken, vilket bl.a. visats genom SGUs undersökningar utanför Göteborg (Cato 2004).

Resultaten visar på behovet och nödvändigheten av att genomföra en systematisk inventering och riskklassificering av alla hamnar, marinor, båt- och skeppsvarv i Sverige. En sådan inventering måste också inkludera båtuppläggningsplatser där skroven blåsträts, skrapats och målats i årtionden med färg innehållande dessa giftiga tennföreningar. Färgspill och slipdamm sköljs bl.a. med regnvatten ned i hamnbassängerna. Det kan i nuvarande läge inte utslutas att ett stort antal uppläggningsplatser, marinor och hamnar behöver saneras för att säkerställa den framtida marina miljön.

Referenser

- Bernes, C., 2000: Persistent organic pollutants. *Swedish Environmental Protection Agency*, 202 s. Stockholm.
- Kannan, K., Senthilkumar, B., Longanthan, S., Takahashi, D.K., Odell, D.K. & 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.
- Cato, I., 2003 a: Organiska tennföreningar i svenska havssediment – ett förbisett miljöproblem. *Havsmiljön 2003*, 12–13.
- Cato, I., 2003 b: Organotin compounds in Swedish sediments – an overlooked environmental problem. In FoU-seminarium vid SGU 11–12 mars 2003, Dokumentation. Geological Survey of Sweden, *SGU-rapport 2003:4*, 6–8.
- Cato, I., 2004: Miljögifter och miljö kvalitet i sediment runt muddertippningsplats SSV Vinga – miljökontroll och utvärdering. Projekt säkrare farleder. *SGU-rapport 2004:1*, 43 s..
- Cato, I., Gönczi, M., Jonsson, P. & Sandkvist, Å. 2002: Sedimentundersökningar i Muskö- och Horssfjärdsområdet. *SGU-rapport 2002:16*, 67 s.
- Magnusson, M., Borggren, A., Granmo, Å. & Cato, I., 2005: Eventuella samband mellan halten tennföreningar i vävnaden hos nätsnäckan *Nassarius nitidus* och halten organiska tennföreningar i sediment. Rapport till Naturvårdsverket, 20 s.
- 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.
- Stewart, C., de Mora, S.J., Jones, M.R.L. & Miller, M.C., 1992: Imposax in New Zealand neogastropods. *Mar. Pollut. Bull.* 4, 204–209.

Molybden och volfram i svenska jordar – förekomstformer och löslighet

JON PETTER GUSTAFSSON, KTH, Institutionen för mark- och vattenteknik, Brinellv. 28, 100 44 Stockholm, e-mail: gustafjp@kth.se

Molybden är ett essentiellt ämne, men kan även vara toxiskt vid höga koncentrationer. Volfram har ingen känd funktion i levande organismer, men kan liksom molybden vara toxiskt vid höga koncentrationer. Molybden och volfram kan spridas antropogent till miljön t.ex. från användning av askor, dubbdäck och ammunition. Molybden och volfram förekommer mestadels som anjonerna molybdat och volframat (MoO_4 och WO_4) i miljön. Sedan tidigare är det känt att adsorption till järn- och aluminiumoxider är en viktig process som styr hur lösligt molybden är i marken; lite var dock känt rörande volframs adsorption, samt hur organiskt material spelar in.

Detta forskningsprojekt syftade till att öka kunskapsbasen om de processer som styr uppträdandet av molybden och volfram i mark. Genom skakförsök undersöktes:

(i) hur effektiv adsorptionen av molybdat och volframat till järnoxiden ferrihydrit är som funktion av pH och konkurrens från fosfat, samt om adsorptionen kunde beskrivas med hjälp av ytcomplexmodeller;

(ii) bindningen av molybdat och volframat till några olika jordar, varav två organiska jordar med ett lågt innehåll av oxider.

I skakförsöken i (i) förekom tre olika koncentrationer ferrihydrit (0.3, 1 och 3 mM Fe), och $50 \mu\text{M}$ Na_2MoO_4 eller Na_2WO_4 tillsattes. I vissa system tillsattes även $200 \mu\text{M}$ NaH_2PO_4 för att studera inverkan av konkurrens från fosfat.

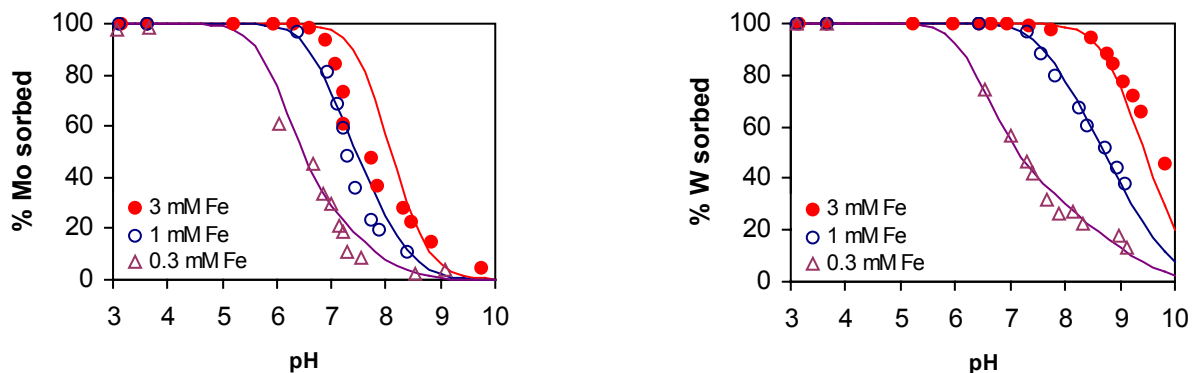


Fig. 1. Adsorption av molybdat och volframat (Mo och W) som funktion av pH. Linjerna är modell Anpassningar med hjälp av TPCD-modellen.

Resultaten visade att såväl molybdat som volframat adsorberades starkt till ferrihydrit vid lågt pH, men adsorptionen avtog snabbt med ökande pH (se fig. 1). Volframat adsorberades betydligt starkare än molybdat. Fosfat konkurrerade effektivt om adsorptionsplatserna vid högt pH, men ej vid lågt pH. Dessa resultat användes för att optimera nya jämviktskonstanter för två ytcomplexmodeller, TPCD (Three-Plane CD-MUSIC model) och DLM (Diffuse-layer model), vilka kan användas för att uppskatta adsorptionen i närvaro av ferrihydrit. För mer detaljer, se Gustafsson (2003, *Chem. Geol.* 200, 105–115).

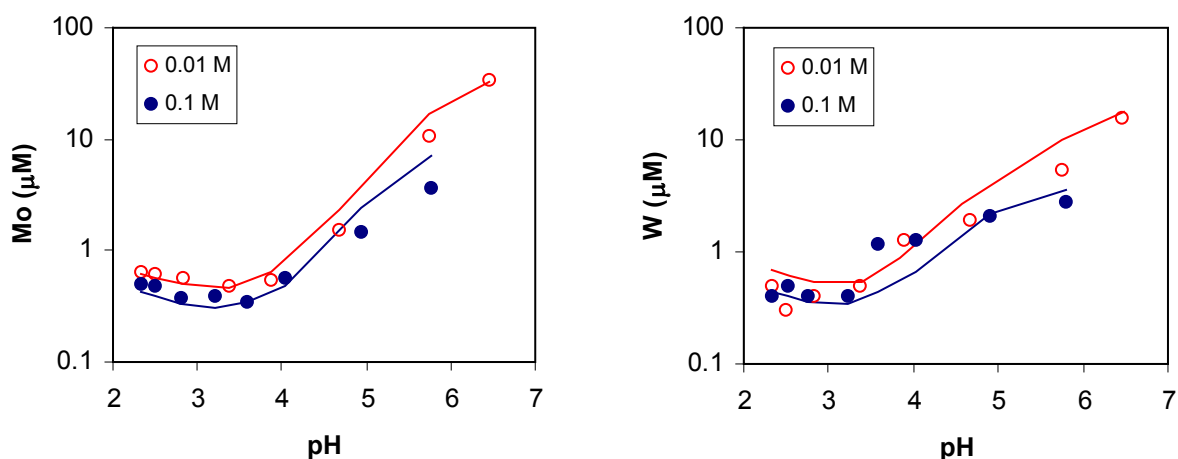


Fig. 2. Uppmätta Mo- och W-koncentrationer (symboler) som funktion av pH i suspensioner innehållande mårskikt (Risbergshöjden Oe) vid två olika jonstyrkor. Linjerna är modellanpassningar med hjälp av SHM. De initialt tillsatta Mo- och W-koncentrationerna var 50 µM.

Samtliga fem jordar som undersöktes, inklusive ett mårskikt och ett låghumifierat Sphagnumprov, adsorberade såväl molybdat som volframmat vid lågt pH. Vid pH <4,5 adsorberades mer än 90 % av tillfört Mo och W i samtliga jordar. För de organiska jordarna var sannolikt komplexbildning av molybdat / volframmat till organiskt material huvudorsaken till adsorptionen. Det visade sig vara möjligt att tillämpa en humuskomplexmodell, Stockholm Humic Model (SHM), för att åtminstone kvalitativt beskriva resultaten.

Figur 2 visar uppmätta data och modellanpassning för mårskiktet (Risbergshöjden Oe). Några slutsatser från projektet som helhet:

- Molybdat och volframmat adsorberas till järnoxider, och pH-beroendet är starkt med effektiv adsorption vid lågt pH och låg adsorption vid högt pH.
- Resultaten visar att volframmat binds åtskilligt starkare än molybdat till järnoxider; dessa resultat behöver dock bekräftas från andra studier.
- Molybdat- och volframmatadsorption till järnoxid, samt konkurrensen från fosfat, kan beskrivas med ytkomplexmodeller.
- Molybdat och volframmat binds till organiskt material vid pH < ca 6. Mekanismen är troligen organisk komplexbildning. Detta gör att mer än 95 % av tillsatt molybdat och volframmat binds till mårskikt och torv vid pH 4, som ofta är det naturliga pH-värdet i ytliga horisonter i skogs- och torvmark.
- Tillsammans visar resultaten att pH-värdet är av största betydelse för beteendet för molybden och volfram i jordar. Vid lågt pH kan såväl organiskt material som oxider binda dessa ämnen starkt. Vid alkalina pH-förhållanden är däremot ämnena lösliga; detta gäller särskilt molybden.
- För att ytterligare belysa bindningen till organiskt material, som visat sig vara viktig, bör spektroskopiska studier göras.

Geochemical Baseline Mapping

KAJ LAX, Sveriges geologiska undersökning, Uppsala
kaj.lax@sgu.se

Geokemiska undersökningar bedrivs för en rad olika syften. Vid en internationell jämförelse kan man snabbt konstatera att val av provmedier, provtagningsmetodik (täthet, djup), provbehandling, samt analysering skiljer sig dramatiskt. Till en del kan detta naturligtvis förklaras av variationer i inriktning och geologiska förutsättningar (morängeokemisk kartering torde exempelvis vara relativt komplicerad i tropikerna), men det visar sig att även grannländer med så gott som identiska förutsättningar tillämpar geokemisk kartering på vitt skilda sätt (Plant et al. 1997).

Dessa avvikelser medför att det ofta är omöjligt att jämföra resultat från ett område (t.ex. land) med resultaten från ett annat. Applikationer och beslut som är beroende av jämförbara resultat (t.ex. miljögeokemi, medical geology) försvaras därmed.

I början av 1990-talet startade ett IGCP-projekt (IGCP-259 Global Geochemical Mapping), vars rekommendationer (Darnley et al. 1995) ledde till att ett nytt IGCP-projekt startades (IGCP-360 A Global Reference Network). Avsikten med IGCP-360 är i korthet:

- Världen indelas i 5 000 celler (160 × 160 km)
- Varje cell delas in i minst 5, helst 8 subceller
- Minst 5 olika provtyper insamlas
- Proverna skall vara kompositprov
- Proverna skall vara tillräckligt stora för att tillåta arkivering av provrester (undantaget vatten)
- Detaljerade instruktioner med avseende på provtagning, provberedning, analysering, kvalitetskontroll, datalagring tas fram.

Som ett led i framtagandet av en global geokemisk databas/kartering omvandlades FOREGS Geochemistry Task Force (en grupp som ursprungligen tillsattes av medlemmarna i European Geological Surveys för att inventera geokemiska databaser i medlemsländerna) till en underkommitté inom IGCP 360. Gruppen har tagit fram en fältmanual som lämpar sig för europeiska förhållanden (Salminen et al. 1998), samt koordinerat provtagning och analys inom 25 länder i Europa. Resultaten föreligger nu (nästan) i sin helhet, och tolkningsarbetet är i slutfasen.

Referenser

- Darnley, A.G., Björklund, A., Bølviken, B., Gustavsson, N., Koval, P.V., Plant, Jane A., Steenfelt, A., Tauchid, M., & Xuejing, Xie. 1995. A Global Geochemical Database for Environmental and Resource Management. Recommendations for International Geochemical Mapping, *Earth Science Report 19*. UNESCO Publishing, Paris.
- Plant, J.A., Klaver, G., Locutura J., Salminen, R., Vrana, K. & Fordyce F.M. 1997. The Forum of European Geological Surveys Geochemistry Task Group: Geochemical inventory. *Journal of Geochemical Exploration*. 59, 123–146.
- Salminen, R., Tarvainen, T., Demetriades, A., Duris, M., Fordyce, F.M., Gregorauskiene, V., Kahelin, H., Kivisilla, J., Klaver, G., Klein, H., Larson, J.O., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mjartanova, H., Mouvet, C., O'Connor, P., Odor, L., Ottonello, G., Paukola, T., Plant, J.A., Reimann, C., Schermann, O., Siewers, U., Steenfelt, A., Van der Sluys, J. & Williams, L., 1998. FOREGS geochemical mapping. Field manual. Geologian tutkimuskeskus, Opas – *Geological Survey of Finland, Guide 47*. 36 pages, 15 figures, and 1 appendix. Available on the Geological Survey of Finland FOREGS web page and in pdf format at www.gsf.fi/info/for_htm.pdf

Uppföljning av miljömålet *Grundvatten av god kvalitet* med hjälp av DGV

LENA MAXE, Sveriges geologiska undersökning, Uppsala
lena.maxe@sgu.se

Bakgrund

De nationella miljö kvalitetsmålen ska följas upp med hjälp av indikatorer. SGU har ansvaret för uppföljningen av miljö kvalitetsmålet *Grundvatten av god kvalitet* och tillhörande delmål. Detta är ett långsiktigt åtagande som löper under en lång tidsperiod (åtminstone till 2020). Det är därför väsentligt att bästa möjliga system utformas så att relevant information på ett effektivt sätt kan samlas in, utvärderas och presenteras. Indikatorerna ska redovisas på Miljömålportalen (www.miljomal.nu). En rad indikatorer som belyser Drivkrafter, Påverkan, Status, Inverkan respektive Respons (DPSIR-systemet), finns föreslagna⁽¹⁾. Indikatoruppsättningen modifierades något vid den fördjupade utvärderingen 2003⁽²⁾ för att bättre spegla vad som påverkar grundvattnet, hur nuvarande grundvattenstatus är och hur olika åtgärder som kan förbättra situationen införs. Den nya indikatorlistan omfattar ungefär 20 olika indikatorer.

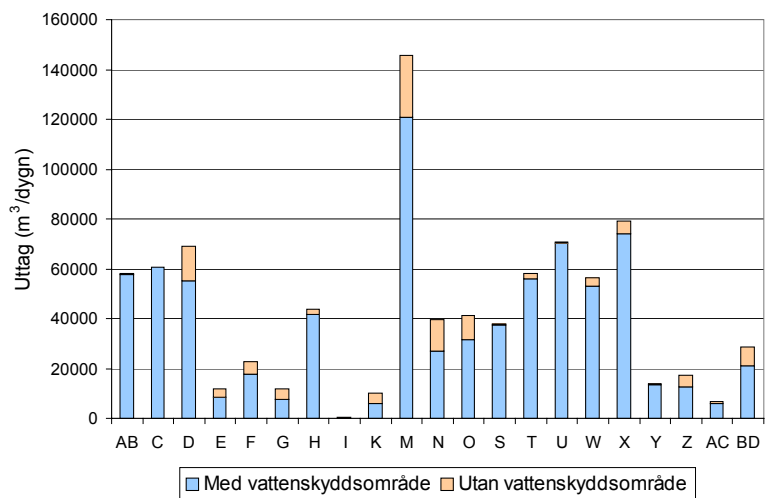
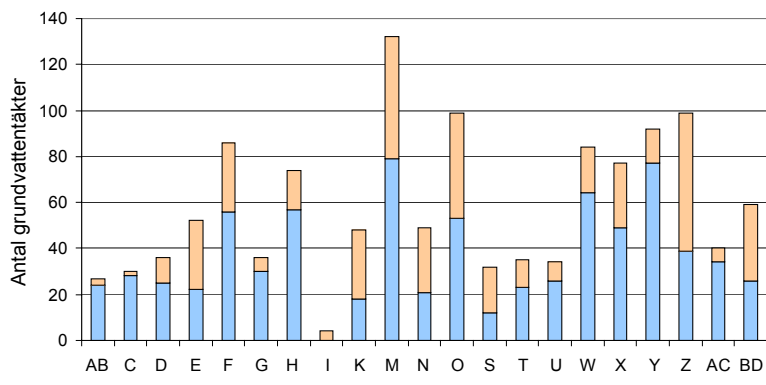
Flera av indikatorerna bygger på att relevanta data samlas in i DGV, dvs. den *Databas för Grundvattenförekomster och Vattentäkter* som är under uppbyggnad på SGU. En indikator måste vara "hållbar" över en lång tidsperiod, data måste finnas tillgängliga och indikatorn får inte bli missvisande. Så medför t.ex. en nedläggning av en vattentäkt med förhöjda nitrathalter att indikatorn som speglar vattentäkter med förhöjda nitrathalter uppvisar en positiv utveckling, men detta kan inte anses motsvara vad miljö kvalitetsmålet syftar till och innebär inte heller en hållbar utveckling i ett längre tidsperspektiv. Projektets mål har således varit att utveckla metoder för att kunna tillgodose miljö kvalitetsmålet *Grundvatten av god kvalitet* behov av uppföljningsdata med insamling genom DGV så att bästa möjliga information kan erhållas på ett effektivt sätt. Detta innebär också att SGUs övriga databaser liksom andra myndigheters insamlingsarbete utnyttjas. Den insamlade informationen ska vara relevant, rättvisande, långsiktigt användbar och kunna ge underlag för intressanta och helst åtgärdsdrivande indikatorpresentationer.

Projektets genomförande

Projektet har genomförts under en tid när DGV fortfarande är under uppbyggnad på SGU samtidigt som arbetet med att identifiera geologiska formationer av nationell betydelse för vattenförsörjningen⁽³⁾ samt ge en första karakterisering av dessa pågått, för en första rapportering enligt vattendirektivets krav. Arbetet med att inarbeta kemiska analyser från de allmänna vattentäkterna har tagit lång tid att genomföra och den planerade utvärderingen av detta materials användbarhet för indikatorarbetet har inte kunnat genomföras. Arbetet fortsätter emellertid under våren. Bedömningen inom projektet var vidare att det är nödvändigt att samordna utformningen av indikatorer, t.ex. avseende markanvändning med vad som presenteras för vattenförekomsterna, denna del av arbetet (eg. utanför detta projekt) fortsätter under året.

Resultat

En indikator som helt bygger på DGV har färdigställts och håller på att fastställas. Den visar i vilken utsträckning allmänna grundvattentäkter har vattenskyddsområde. Inte alla kommuner har ännu rapporterat in vattentäkter till DGV. Hittills har 1225 grundvattentäkter rapporterats från 175 kommuner⁽⁴⁾. Av dessa har 62 % vattenskyddsområde. Av vattenuttagen görs 88 % från grundvattentäkter med skyddsområde, alltså en betydligt högre andel (se figur).



Antal grundvattentäkter med eller utan vattenskyddsområde per län (enligt inrapportering till DGV) samt sammanlagt medeluttag (m³/dygn).

Diskussion

För att uppfylla de krav som ställs på indikatorer är det viktigt att kommuner rapporterar in data om sina vattentäkter till DGV. Eftersom förändringarna är långsamma är det inte helt nödvändigt att inrapporteringen sker årligen utan glesare intervall är tänkbart. Det är emellertid viktigt att ha kringinformation, t.ex. om orsak till eventuell nedläggning av vattentäkter för att kunna tolka resultaten. Inom ramen för indikatorpresentation på Miljömålsportalen finns möjlighet att under fliken "Fördjupning" ge en bredare bild än vad som ryms på första sidan. Detta bör utnyttjas t.ex. för information av samma typ som ovan vilket ju bl.a. visar att även om många grundvattentäkter saknar vattenskyddsområde så täcks ändå en relativt stor andel av kommunernas uttag. Även andra indikatorer som är under utveckling anknyter till data i DGV. Ett exempel är indikatorn om påverkan på vattentäkter från vägsalt som så småningom kommer att bygga på vattenanalyser inlagrade i DGV. För att bättre kunna urskilja vägsaltspåverkan har en karta enligt tidigare utvecklad metodik⁽⁵⁾ som visar vilka områden som efter istiden varit täckta av salta hav tagits fram inom projektet. Denna karta är också viktig för att kunna peka ut riskområden där stora vattenuttag och djupa borrhningar negativt kan påverka vattenkvaliteten, vilket följs upp genom en annan indikator som är under utveckling.

(1) Miljömålskommittén 2000. Framtidens miljö – allas vårt ansvar! *SOU 2000:52*.

(2) Fördjupad utvärdering 2003. Grundvatten av god kvalitet. *SGU Rapporter och meddelanden 114*.

(3) Åsman, M. & Ojala, L. 2004. Identifiering av geologiska formationer av nationell betydelse för vattenförsörjningen. *SGU Rapporter och meddelanden 115*.

(4) Ojala, L., Thorsbrink, M., Lång, L-O, & Mellqvist, E. 2004. Information om kommunala vattentäkter i DGV- september 2004. *SGU-rapport 2004:15*.

(5) Påsse, T. 2001: An empirical model of glacio-isostatic movements and shore level displacement in Fennoscandia. *SKB R-01-41*. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. Stockholm. 1–59.

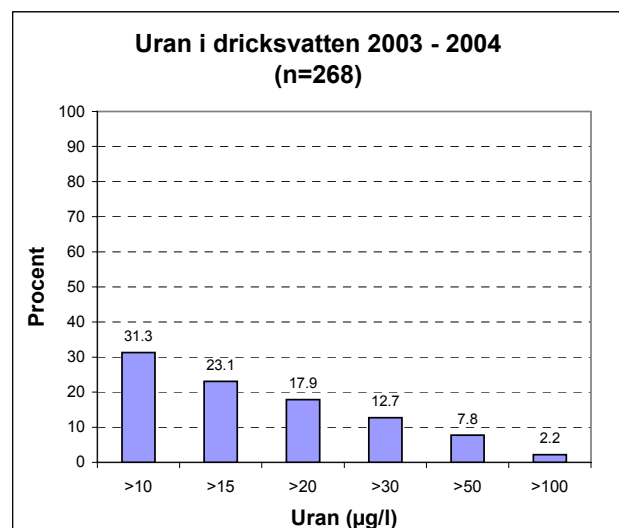
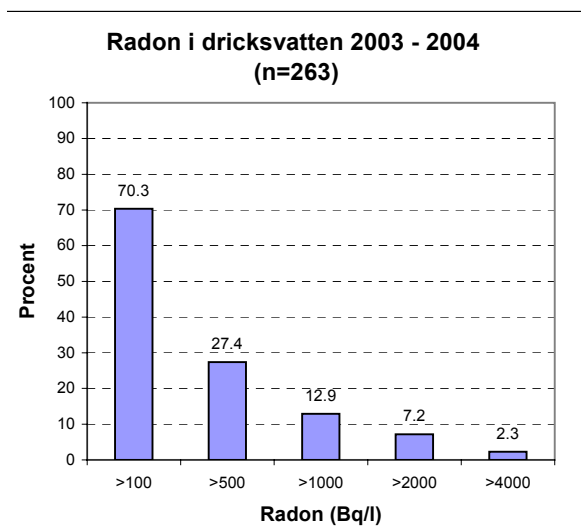
Radioaktivitet i dricksvatten

BRITT-MARIE EK och **BO THUNHOLM**, Sveriges geologiska undersökning, Uppsala
britt-marie.ek@sgu.se bo.thunholm@sgu.se

Sveriges berggrunds innehåll av radioaktiva ämnen, som uran och dess sönderfallsprodukter radium och radon, är internationellt sett högt. Detta avspeglas därför även i vårt grundvatten men i olika hög grad beroende på halterna i jord och berggrund.

Gränsvärden för radon i dricksvatten har funnits sedan några år och det finns nu även gränsvärden för uran och radium på grund av dess radioaktivitet. Uran är en metall, som även kan vara skadlig p.g.a. av dess kemiska toxicitet, men ännu har inte något gränsvärde fastställts på grund av toxiciteten. WHO har dock nyligen antagit ett provisoriskt riktvärde för uran på 15 µg/l.

De undersökningar av radioaktiviteten i dricksvatten från bergborrade brunnar som genomförs i samarbete med SSI, visar att i områden med uranrik berggrund är det vanligt med förhöjd radioaktivitet i dricksvattnet. Mer än var tredje bergbörd brunn i dessa områden uppvisar högre uranhalter än den av WHO rekommenderade. Under 2003–2004 genomförda analyser av vatten från slumpvis utvalda brunnar i åtta län, där ingen hänsyn har tagits till geologin, visar att radioaktiviteten generellt är lägre. Variationen mellan närliggande brunnar är dock stor. I områden med uranrik berggrund förekommer brunnar utan radioaktiva ämnen i vattnet liksom det i områden med låga uranhalter i berggrunden kan påträffas mycket höga halter av uran och radon och även radium.



Resultat av radon- och uranalyserna av vatten från bergborrade brunnar provtagna under 2003 och 2004.

Spreading of multiphase pollutants in heterogeneous subsurface environments

AULI NIEMI, HANNA ZANDIN AND MAGNUS ODEN, Uppsala University, Department of Earth Sciences, Villavägen 16, Uppsala, Sweden. E-mail: auli.niemi@geo.uu.se

This project has focused on developing new models for the prediction of Non-Aqueous-Phase-Liquids (NAPL) spreading in heterogeneous geological environments, giving special emphasis to Swedish climatic and geological conditions. NAPLs, commonly divided according to their density to LNAPLs (lighter than water) and DNAPLs (denser than water) are preferentially present in the soil as their own phase, but during their transport also undergo phase transformations vaporizing into the gas phase, dissolving into groundwater and adsorbing onto soil particles. Furthermore, they are often mixtures of a large number of chemicals that each partition between the various phases at different rates. The multi-chemical character and the different phase interaction and phase transformation phenomena in combination with natural geological heterogeneity give rise to highly complicated transport behavior that is presently in many cases not well understood and can only be modeled to a certain extent.

According to the statistics of the Swedish Rescue Works Agency (SRV) the most common accident-related pollutants in Sweden are gasoline and diesel fuel, both typical NAPLs. In another nationwide mapping of contaminated areas were petroleum compounds, chlorinated hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons found important. Based on these surveys we especially have focused on these chemicals.

As the first step, we modeled previously reported laboratory experiments on NAPL penetration in heterogeneous soil profiles. The objective was to gain insight into such numerical as well as conceptual modelling issues as (i) what type of weighting schemes should be used for absolute and relative permeabilities when modelling multiphase flow in heterogeneous media, (iii) what type of numerical resolution is needed to capture the heterogeneity effects and (ii) what are the correct characteristic functions (relative permeability – liquid saturation and liquid saturation-capillary pressure functions) for three-phase flow.

Next, the modeling of NAPL spreading was extended to the study of field scale heterogeneity, with heterogeneity based on statistical information from representative Scandinavian soils, presented as stochastic random fields and modelled by means of Monte Carlo techniques. The variables of interest are e.g. mass breakthrough time from land surface to the water table and amount and location of residual NAPL after the spill has become immobile. In combination with the typical soil heterogeneity effects, we also consider the role of seasonal, monthly and hourly variations in infiltration to see how significant the role of natural variations in infiltration are to NAPL spreading when the full three-phase (NAPL-aqueous-gas) coupled transport is considered.

In the above simulations the NAPLs are considered as single chemicals in order to get an understanding of the variability and heterogeneity effects on the physical spreading processes. During the course of the project we have however also taken into use a model that deals with multi-chemical multi-phase transport (TMVOC developed by LBNL, USA) as well as followed the development (under the supervision of the applicant but not financed from this project) of our own modelling capabilities for handling multi-component multiphase transport.

Several possible field sites with NAPL related pollution and remediation have been considered for site-specific analyses and modeling. Emphasis has been given to (i) the existence of heterogeneity and (ii) availability of an already relatively abundant data base, as extensive field experiments have not been within the framework of this project. For further analyses a site in Linköping, contaminated by oils and solvents has been selected. The spreading patterns to be considered at the site are e.g. mixing and transport of solvent with oil and multi-component modeling. Another continuation of the present project is to participate to laboratory experiments on three-phase NAPL spreading in the research group of prof. Tissa Illangasekare (Colorado School of Mines, USA), with whom collaboration has been established during the course of the project and where we presently already have a visitor working on such experiments.

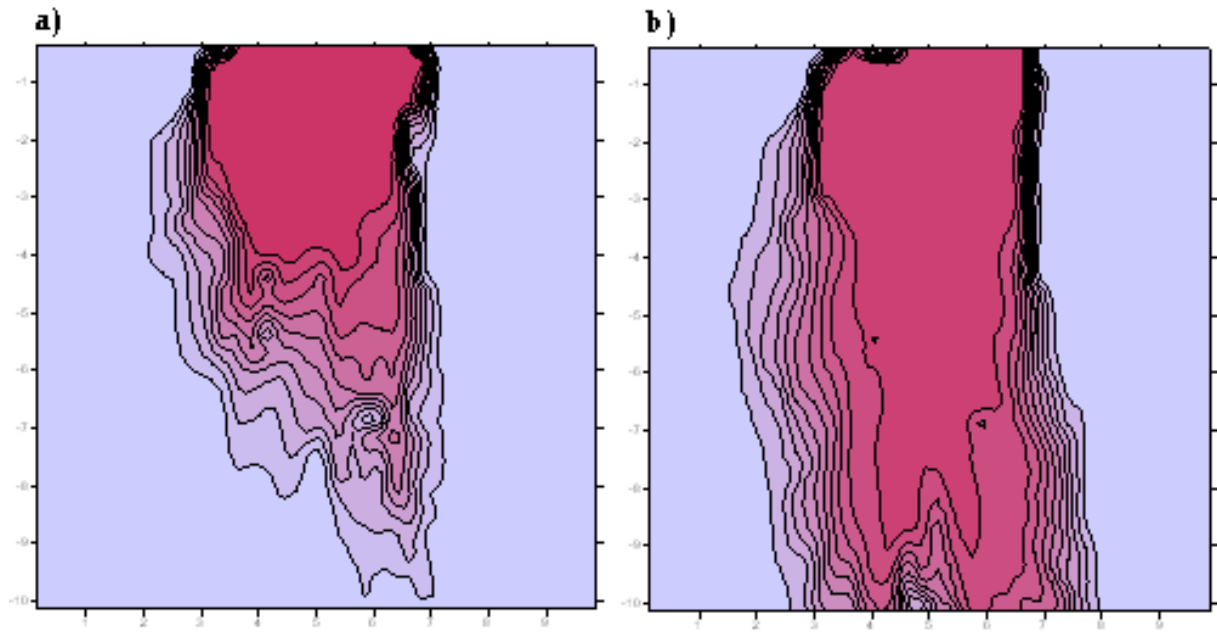


Fig. 1. Example simulation result; TCE-concentration in the aqueous phase of an unsaturated zone seven days after a two-hour long spill a) average background water infiltration rate and b) water infiltration concentrated into extreme rain periods.

Prognostisering av grus, sten och block i morän

TORÉ PASSE, Sveriges geologiska undersökning, Göteborg
tore.passe.@sgu.se

I detta projekt beskrivs en metod för prognostisering av kornfördelningen av grus, sten och block i normala moräner. För att göra dessa prognoser krävs endast tillgång till konventionella kornstorleksanalyser av kornstorlekar <20 mm.

Utgångspunkt för denna prognostiseringsmetod är ett arbete där kornfördelningar i morän har bestämts med god noggrannhet upp till 200–400 mm i ett flertal prover. Detta har gjorts genom att i fält väga enskilda gruspartiklar, stenar och block i moränproverna. Fältmätningarna har kombinerats med konventionella analyser av de finkorniga delarna.

Ovan beskrivna ”totalanalyser” har tolkats med en metod som beskriver kornfördelningar i matematiska termer (Påsse 1996, 1997). Denna metod visar att primära moräner kan beskrivas med två eller tre normalfördelade kornpopulationer, dels en huvudsakligen sandig del (matrix) och dels en grov kornpopulation bestående av grus, sten och block. I vissa moräner förekommer även en lerpopulation, vilken dock i de flesta fall är relativt blygsam. I de matematiska tolkningarna beskrivs moränerna med utgångspunkt från kornpopulationernas storlek (p %), medelkornstorlek (μ mm) och sorteringsgrad (s).

En sammanställning av resultaten från fältmätningarna påvisar flera samband mellan de värden som används för att beskriva kornpopulationerna. Av avgörande betydelse är att samband påvisats mellan matrix och de grova kornpopulationerna med avseende på medelkornstorlekar och kornpopulationernas storlekar. Dessa samband medför att kornparametrarna för de grova populationerna kan härledas från matrixens kornparametrar, vilket möjliggör att kornstorleksfördelningen för grus, sten och block i morän kan beräknas från matrixens kornparametrar. För att få fram dessa parametrar krävs endast matematisk tolkning av konventionella kornstorleksanalyser, dvs. en prognos kan göras från en kornstorleksanalys som gjorts enbart på material <20 mm. Exempel på de samband som tagits fram mellan olika kornparametrar visas i figurerna 1–2.

För att påvisa ovan angivna samband måste analyserna delas upp i två moräntyper. Utan att ha undersökt detta i detalj beskrivs de båda typerna i detta arbete som gnejstypen respektive granittypen.

Projektet har utmynnats i utformning av en Excel-fil, som kan användas för att prognostisera den grova kornfördelningen i morän. Denna fil kommer att visas på SGUs FoU-föredrag och kommer senare att göras tillgänglig för alla.

Referenser

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

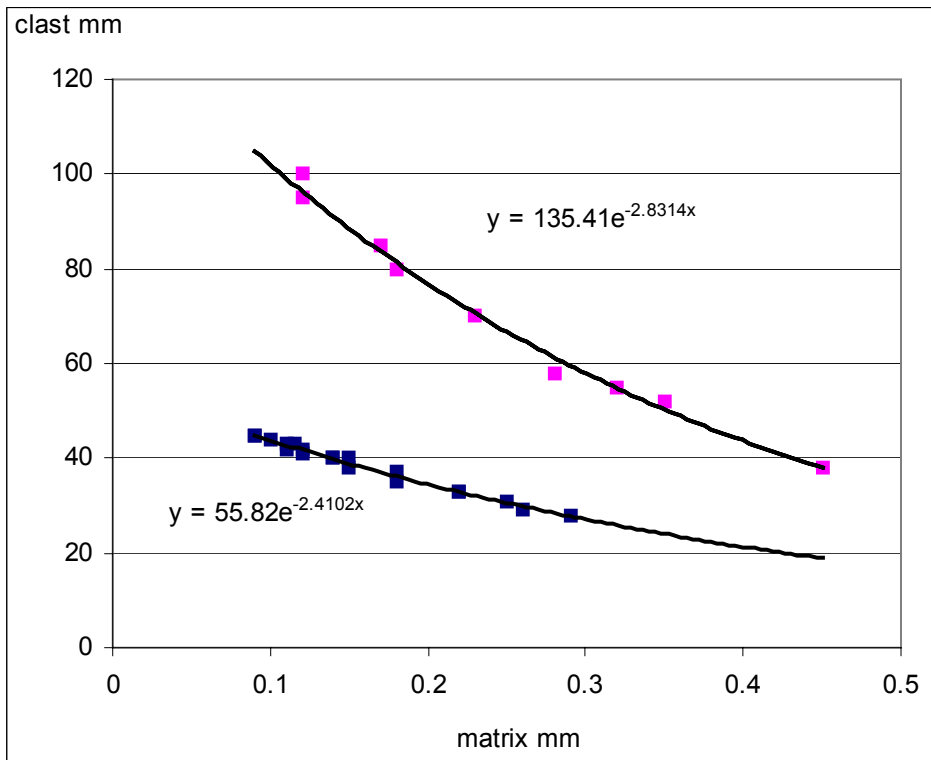


Fig. 1. Förhållandet mellan medelkornstorleken hos matrix och de grova kornpopulationerna (μ_1 vs μ_2). Moränprover från gnejsterräng har betecknats med fyrkanter i cerise (den övre linjen) och prover från granitområden har betecknats med blå fyrkant.

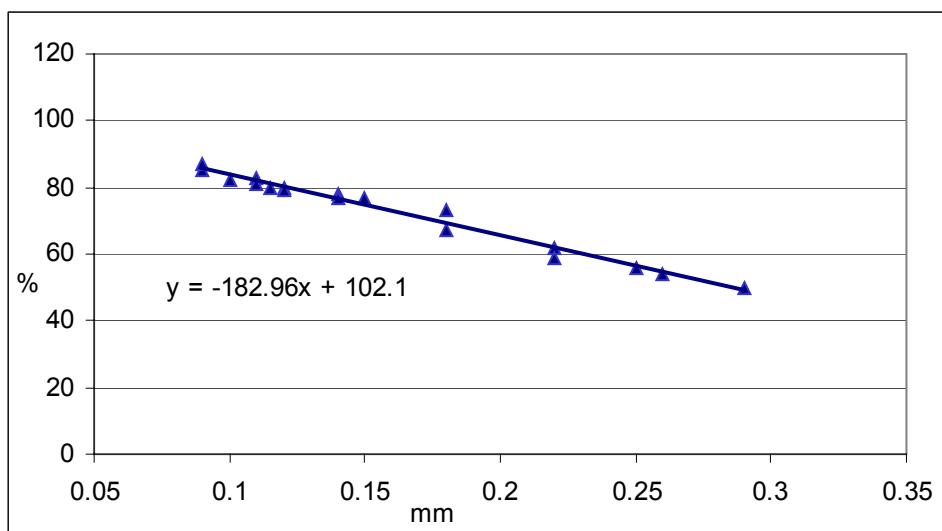


Fig. 2. Förhållandet mellan medelkornstorlek och kornpopulationens procentuella storlek för matrix i morän från granitområden (μ_1 vs p_1).

Kemisk och mineralogisk sammansättning i profiler från svallgrus och moräner med svallat ytskikt

SVEN SNÄLL, LENA MAXE, MADELEN ANDERSSON OCH HANNA LOKRANTZ, Sveriges geologiska undersökning, Uppsala
sven.snall@sgu.se; lena.maxe@sgu.se; madelen.andersson@sgu.se; hanna.lokrantz@sgu.se

Abstract

Morän är arealmässigt den dominerande jordartstypen i Sverige. Jordarten är vanlig såväl över den högsta kustlinjen (Hk) som under. Under högsta kustlinjen kan moränen vara mer eller mindre påverkad av vågors agerande (svallad) med förändringar i framför allt kornstorleksfördelning som följd.

Flera studier har gjorts av kemisk och mineralogisk sammansättning och vittring i profiler från moräner ovan högsta kustlinjen men profiler i svallade moräner under högsta kustlinjen är mindre undersökta. I denna studie har svallade moräner undersökts i tre lokaler, en i Uppland och två i Hälsingland.

Syftet med undersökningarna har varit att samla underlagsmaterial (kornstorleksfördelning, specifik yta, mineralogisk och kemisk sammansättning i profilerna) för ev. modellering av vittringen i denna jordartstyp.

Vid fältarbetet visade sig vara svårt att lokalisera lämpliga provtagningsställen då de svallade moränerna oftast inte var "ideala" med bara ett svallat ytskikt på en i övrigt opåverkad homogen morän utan bestående av olika skikt med olika kornstorleksfördelning.

Det insamlade materialet från profilerna visade sig vara mycket olika i många avseenden. I profilen från Uppland (Stocktorpet) utgör matrixmaterialet (kornstorlek <2 mm) mellan 50 % och 74 % av jordarten och i den ena av profilerna från Hälsingland (Norrallaprofilen) mellan 25 % och 43 % och i den andra från Hälsingland (profilen från Tomashamnsmyran) från bara 4 % upp till 47 %.

Innehållet av organiskt material var mycket högt i två av profilerna. I profilen från Uppland (Stocktorpet) var glödningsförlusten som mest 10–12,5 % och kolhalten 5,0–7,4 %, och i profilen från Tomashamnsmyran i Hälsingland ökar innehållet av organiskt material i matrixen successivt nedåt från 15 cm djup till 60 cm djup, vilket återspeglas av ökad glödningsförlust från 4,4 % till 16,7 % och kolhalten från 2,2 % till 8,7 %.

Utfällt järn och aluminium, bestämt genom extraktion av proverna, följer i stort fördelningen av organiskt material i profilerna med de högsta halterna i profilerna från Stocktorpet och Tomashamnsmyran. I den sistnämnda är dock halten av extraherbart aluminium påfallande högt. Extraktionerna visar också att fosfor i marken huvudsakligen föreligger i löslig form och merparten lakas ut vid denna behandling. I jämförelse med extraherbart järn är extraherbart fosfor särskilt hög i Norrallaprofilen.

Mineralogiskt, som återspeglas kemiskt, är det också tydliga skillnader mellan profilerna, som i viss mån borde kunna förklaras av bergartsunderlaget på platsen där profilerna grävts. Berggrunden i Uppland, där Stocktorpetprofilen är grävd, utgörs av en hornbländeförande metagranitoid. Hög hornbländehalt är också karakteristisk för materialet i moränprofilen, som i materialet fritt från organisk substans och utfällningar innehåller mellan 6 % och 10 % hornblände. Däremot är kvartshalten i profilen oväntat hög, 40–42 % i moränens matrix, vilket är den högsta kvartshalten för de undersökta profilerna. Innehållet av plagioklas varierar mellan 23 % och 27 % och är av oligoklastyp (An15-23). K-fältpat uppträder i halter mellan 17 % och 20 %.

I profilen från Norralla är kvartshalten i matrix bara 30–32 % i de mindre vittringspåverkade partierna. Innehållet av glimmer och klorit är högt i profilen. Glimmerhalten har beräknats till 15–16 % och klorithalten till 12–15 %. Glimmern är huvudsakligen dioktaedrisk, av muskovittyp. Plagioklashalten är mellan 21 % och 23 %, och av albittyp (An 4-9). K-fältpatinnehållet är mellan 13 % och 16 %. Bergrunden i lokalen utgörs av granodiorit men det kan också finnas gnejser av sedimentärt ursprung i området.

Speciellt för materialet i profilen från Tomashamnsmyran är att det innehåller välbevarade fjäll av biotit (3–4 % av matrixmaterialet) även i de övre delarna av B-horisonten. Underordnat ingår också granat (almandin) i moränens matrix. Båda dessa mineral är att betrakta som jämförelsevis lättvittrade. De har sitt ursprung i den lokala berggrunden som utgörs av en migmatitomvandlad sedimentgnejs. Kvartshalten i

moränens matrix är mellan 33 % och 40 % och plagioklashalten 29–32 % av oligoklastyp (An 19-20). K-fältspathalten är mellan 14 % och 20 %.

Lermineralanalyser visar att materialet i samtliga insamlade prover, även material från C-horisonterna i proverna, är mer eller mindre påverkat av vittring. Förekomsten av vermikulit och blandskiktmineral med vermikulitkomponenter indikerar detta.

Ett sätt att kvantifiera vittring är att nyttja mineral som är resistenta mot vittring i vårt klimat, t.ex. kvarts och zirkon. I en från början homogen markprofil sker vid vittringen successivt en anrikning av dessa mineral och därmed en relativ ökning av halterna av mineralen uppåt i profilerna. Utifrån denna anrikning och mängderna material i varje provtagningsnivå kan materialförlusterna i jordprofilerna beräknas. I de fall jordarten inte är homogen är metodiken inte tillämpbar. Endast i Norralaprofilen ökar kvarts- och zirkonhalterna (uppmätt som zirkonium genom kemisk analys) successivt uppåt i markprofilen. Uppmätta materialförluster från Norrala är dock bara minimivärden då jordlagren i profilen är homogena endast till ett mindre djup (47 cm). I de andra profilerna uppvisar antingen kvartsen eller zirkonium en icke ideal fördelning, sannolikt beroende på att mineralen omfördelats i markskikten vid vågornas bearbetning eller att jordarten från början var uppbyggd av skikt med olika sammansättning. I sådana fall krävs en annan metodik för vittringsberäkningarna. I profilen från Stocktorpet i Uppland har sannolikt grundvatten transporterat ämnen i lösning från högre terränglägen och fällt ut bl.a. de extraherbara elementen och humusämnen i jordarten.

Vittringberäkningar med PROFILE-modellen skulle kunna vara tillämplig eftersom beräkningarna i denna utgår från såväl mineralens halter som löslighet. En annan viktig parameter i PROFILE-modellen är mineralornas specifika yta. Den har bestämts för matrixmaterialet i proverna sedan det organiska materialet och utfällda järn- och aluminiumoxider/hydroxider tagits bort. Mineralen i materialet i profilen från Tomashamnsmyran har den minsta specifika ytan, 0,2–0,6 g/m², i profilen från Norrala ligger de flesta uppmätta ytorna inom intervallet 2,0–2,5 g/m² och i profilen från Stocktorpet är det större variation med uppmätta ytor från 1,1 g/m² till 2,7 g/m².

Om bestämningarna genomfördes på det naturliga materialet skulle ytorna bli betydligt större eftersom särskilt järn(hydr)oxiderna i jordarterna ger upphov till mycket stora specifika ytor. I profilen från Tomashamnsmyran täcker sannolikt järnutfällningar biotitfjällen och förhindrar den vittring av dem som för länge sedan borde ha skett.

A revision of the Early Wenlock stratigraphy of Gotland

LENNART JEPPSSON, Department of Geology, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden
Lennart.Jeppsson@geol.lu.se

Before 1925 different opinions were published about the extent of the formations on Gotland (e.g. compare the maps of Hede 1921 and 1925). Since then Hede's 1925-map and the geological map descriptions have been used, although several authors have found problems with the relationship between the Högklint and the Tofta formations in different areas on Gotland. However, these palaeontological efforts did not include enough material from the 'Tofta Fm type area' in Visby to permit correlation with studied strata elsewhere on Gotland. A published detailed lithostratigraphic subdivision failed to identify and remedy the problems. In retrospect this was due to most lithologies replacing each other laterally and re-occurring many times through the Silurian on Gotland; e.g. one or more of the named Högklint members were found in all the revised units (below), including the Slite Group. However, I used that paper to collect a presumably complete sequence. Only later did I realise the magnitude of the stratigraphic problems. Grants from SGU permitted assembling large collections so that the conodont zonation could be used to sort out the stratigraphy. In order to preserve the well-known stratigraphic names – as far as is possible – Hede's boundary localities have been kept.

The true Högklint Fm is only exposed in a narrow strip along the coast, northeastwards as far as the bay Kappelshamnsviken. Högklint includes a distinct reef generation forming spectacular cliffs, northwards along the coast to Halls Huk. Thus, the uppermost member of the Lower Visby Fm, the Upper Visby Fm, the Högklint Fm and the lower member of the Tofta Fm all disappear below sea level at Kappelshamnsviken. Most previous correlation-errors were due to miscorrelations across the Hall-Hangvar area and that bay. To accommodate some of the resulting problems, a major gap was assumed between Högklint c and Slite c NE of that bay. My stratigraphic revisions fill that presumed gap.

Galgberget 1 has for generations been visited as the Högklint/Tofta boundary locality. The well-known discontinuity there occurs in most other outcrops, too. A more precise boundary elsewhere should remain within that gap and above Högklint unit d. A complete, or at least more complete, sequence has now been found east of Gnisvärd, and probably also at Kappelshamnsviken (the last samples are being processed). Like other formations on Gotland, the Tofta Fm ranges from marls in the SW (previously mapped as Slite Marl) to limestones NE thereof (the Tofta of the geological maps) and as far as to Fårö (previously included in the Högklint Fm). The classic Tofta strata are algal and so are at least some of those now identified. Lower, middle and upper parts of the Tofta Fm can be separated as far as they are exposed. The second generation of large reefs during the Wenlock, strong enough to form spectacular scenery, most probably belongs in the upper Tofta. Sea stacks were formed in these reefs along the northern coast of Fårö. The lower and middle Tofta Fm separate that reef generation from that in the Högklint.

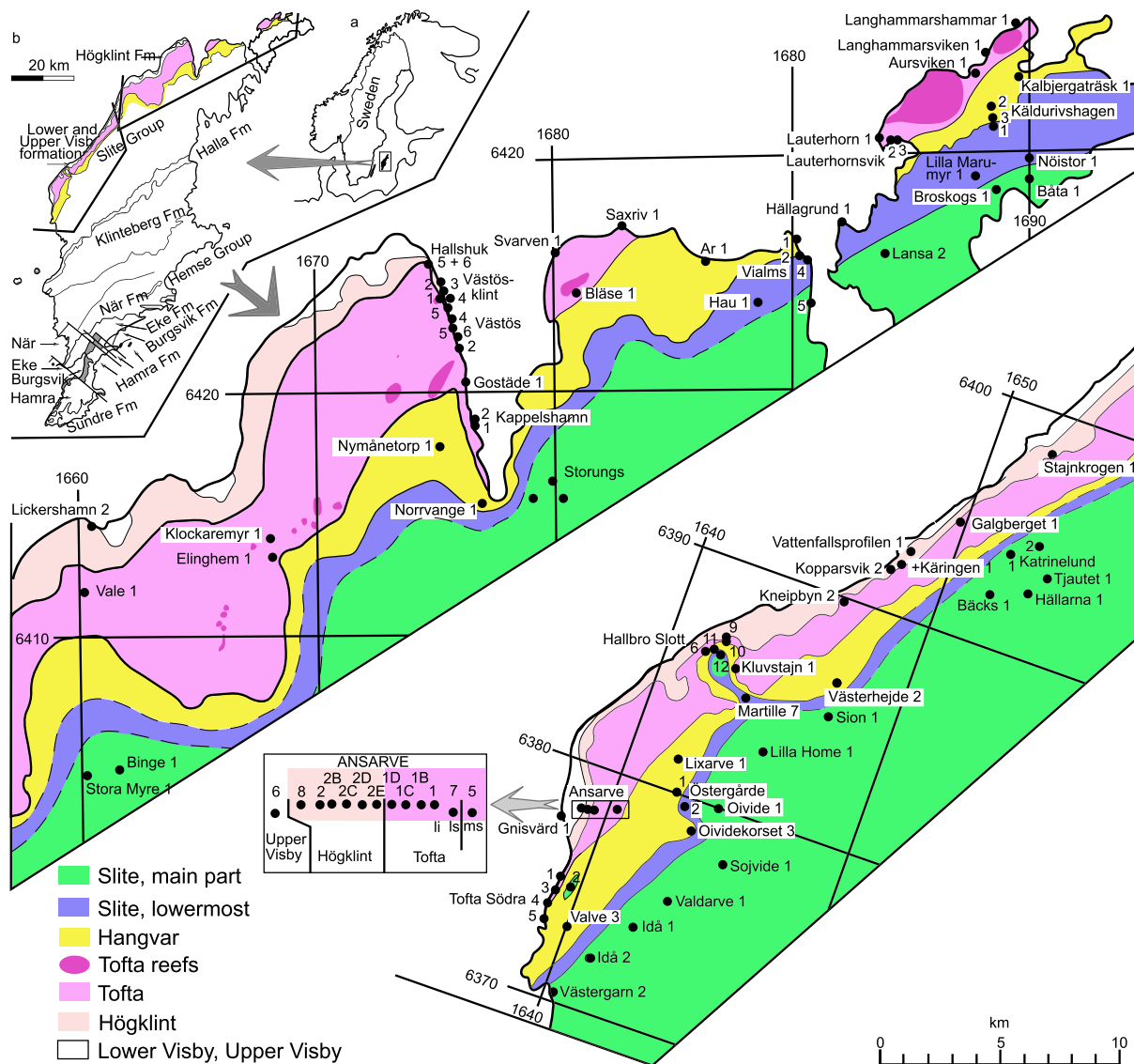
Parts of the previous Högklint Fm are in fact younger than the Tofta Fm and coeval with a part of the previous Slite Group. These are here combined into the Hangvar Formation (new). Its lower boundary coincides with Hede's Tofta/Slite boundary at Käringen 1. Hangvar Fm includes marls as far SW as near Paviken (previously Slite Marl and unit a), limestones SE and NE of Visby (previously Slite Group, units a and b) and continues northeastwards to eastern Fårö (previously Högklint Fm). Lower and upper parts can be distinguished.

Hede's Högklint Fm/Slite Group boundary at Vialms (W of Fårösund; a key area for Hedström's work too) is the true base of the Slite Group, as far as now can be judged.

Work on other parts of Gotland revealed a similar pattern; the map of Hede 1921 is closer to the correct correlations than the geological maps. As a result of my stratigraphic revisions, many taxa earlier considered coeval (e.g. at different lower Högklint localities) in fact had non-overlapping ranges – as elsewhere. For example, the Estonian chitinozoan zonation becomes recognisable on Gotland, too, and can be correlated with the conodont zonation.

Abrupt disappearances of conodonts were found near the base of the Tofta and probably also in other major clades [Hede's (1921) macrofossil-based stratigraphy indicates that he identified a similar pattern].

However, the faunal composition was largely restored by a protracted recovery through the lower and middle Tofta. *Kockelella* disappeared at the base of the Hangvar and returned at the base of the Slite. A rocky shoreline indicates a brief but probably considerable sea level drop. These and other data indicate a secundo-secundo event, which can be named the Ansarve Event. It started during the deposition of the topmost Högklint and was most severe during the deposition of the lowermost Tofta (missing at Galgberget 1). Hence, this event split what has been known as the Vattenfallet Secundo Episode into the Vattenfallet and the Vialms secundo episodes. It resembles the previously described Mulde Event in several aspects – as expected – since both were secundo-secundo events. However, the Ansarve Event was weaker, and its profound effects were mainly transient.



The geographic position of sampled localities. The grid used is the Swedish National grid (Rikets Nät). Preliminary formational boundaries have been approximated where needed and, in the absence of evidence to the contrary; the boundaries of the existing geological map have been assumed to be locally correct and reconnected as shown (the lines are dashed at longer distances from the nearest properly dated locality). The colour belts function only to connect localities with coeval top strata, and proper mapping is needed to identify the outcrop belts. The colour around the locality dots shows the surface geology; older formations are exposed lower in many studied sections and quarries.

Age and P-T paths of metamorphism in the Bergslagen region, southern Sweden

ULF B. ANDERSSON, Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet

Ages of the metamorphism in the south Svecofennian province of Bergslagen have mostly been inferred by indirect means in the past. Traditionally, it was considered to have developed in between the emplacement of the early Svecofennian supracrustal and plutonic rocks (c. 1.91–1.86 Ga; e.g. Lundström et al. 1998) and the intrusion of the late-orogenic granitoids and cross-cutting pegmatites (1.82–1.75 Ga; e.g. Öhlander & Romer, Romer & Smeds 1997), as the former are metamorphosed and the latter are not. However, from the few direct age determinations on metamorphic minerals that exist a metamorphic age range of c. 1.85–1.78 Ga have emerged (Romer & Öhlander 1994, 1995, Andersson 1997), which overlaps with that of the late-orogenic magmatism, and the emplacement of Transscandinavian Igneous Belt (TIB) intrusions (1.85–1.78 Ga; Wikström & Andersson 2004) along the western and southern margins of Bergslagen. However, all but one of the metamorphic age determinations (Romer & Öhlander 1994) are from the southern, high-grade part of Bergslagen.

In some areas contact metamorphic effects of early orogenic intrusions have been noted from field studies (Stålhös 1991, and ref. therein), but not documented by direct geochronology. Such early metamorphism and deformation (>1.86 Ga) has recently been documented by indirect dating of cross-cutting relations (Bergman et al. 2004, Hermansson et al. 2004). Direct geochronologic evidence of the existence of pre-1.85 Ga metamorphism and anatexis from northern Bergslagen has been found by SIMS analysis: i) as a 1866 ± 4 Ma metamorphic overgrowth on a detrital zircon in a metasediment from Odensala, eastern Bergslagen, and ii) as two spots in a metamorphic zircon grain (1870 ± 20 Ma) in a metabasite from Fiskbäcken, NW Bergslagen.

Two rocks from the Larsbo formation in NW Bergslagen yielded complicated geochronological results. One is an igneous-looking, Gt-Bt-Pl-Qz-rock ('garnet tonalite' with euhedral garnets) that forms the 'magmatic' part in an apparent migmatitic section within the metasedimentary succession. The other is a metaquartz diorite, partly garnet-bearing, at the eastern margin of the succession. The former contains a specific type of bi-pyramidal, short-prismatic zircons with sector or faint concentric zoning. Excluding a number of apparently somewhat older crystals and cores, >1915 Ma, these grains range in age from 1908 ± 7 to 1876 ± 10 Ma, with one outlier at 1868 ± 10 Ma. Omitting the latter yields a weighted $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -age for these nearly concordant analyses of 1894 ± 1 Ma (MSWD=1.2), which is considered to approximate the time of migmatization. The other sample contains zircons that mostly show concentric growth zoning, sometimes with apparent resorbed core-overgrowth relations. Excluding crystals and cores that show older ages in the range 1.91–1.94 Ga, leaves a most abundant group of 'igneous-looking' cores and grains with ages of 1900–1885 Ma, with two outliers at c. 1855 Ma. These pre-1885 Ma cores show apparent overgrowths in the range 1885–1875 Ma. A weighted $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -average of all concordant points 1875–1900 Ma yields 1893 ± 5 Ma (MSWD=0.59).

The lowest age recorded in the 'garnet tonalite' is taken to support early Svecofennian migmatization >1.87 Ga, and possibly as early as c. 1895 Ma. The quartz diorite appears to have intruded at c. 1895 Ma, and suffered metamorphism slightly later. This metamorphism may have been induced by subsequent mafic intrusive activity, as mafic bodies are abundant in the area.

In southern Bergslagen most of the geochronologic traces of possible earlier metamorphism may have been obliterated by the high-grade late Svecofennian regional metamorphism (c. 1820–1800 Ma) and contact metamorphism in the vicinity of the TIB intrusions (1845–1784 Ma; Andersson 1997), but partly preserved in the lower-grade terrains of northern Bergslagen. U-Pb monazite data of the Finspång massif, intruded at 1855 ± 6 Ma (MSWD=0.15; weighted $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -SIMS-average), indicate that even some late (TIB) intrusions in southern Bergslagen have experienced metamorphism and deformation to at least 1.82 Ga.

The general regional pattern of metamorphic grade of rocks in Bergslagen (Rickard 1988, Stålhös 1991) show a transition from middle to upper amphibolite facies from north to south, with granulitic peaks in

the vicinity of TIB-intrusions (Andersson et al. 1992, Wikström & Larsson 1993, Andersson 1997), with a small greenschist area in the NW (Lundström 1995). Major shear zones separate lower grade areas in the SE and higher grade areas in the NE (Persson & Sjöström 2002, 2003). In the north a major, but little known, tectonic boundary separates Bergslagen from considerably higher grade areas of south central Sweden.

Stålhös (1991) schematically separated Bergslagen regionally according to the reaction $Mu + Qz = Kfs + Sill + H_2O$ in metapelites, where the north belong to the left-hand, low-T side and the south belong to the right-hand, high-T side. In the north andalusite is much more common than sillimanite, together with cordierite, while garnet is rather uncommon. Staurolite has been reported, but not kyanite. In the south sillimanite is abundant, and andalusite normally only retrograde. Garnet is much more abundant, and rocks are widely migmatized. The assemblage Cd-Sill(\pm Gt) is the rule, and becomes supplemented by spinel and orthopyroxene in areas influenced by TIB-intrusions.

P-T estimates from the southern Bergslagen regionally metamorphosed areas normally are within 500–650 °C and 1–4 kbar (e.g. Sjöström & Bergman 1998), while conditions increase to 700–950 °C and 3–7 kbar close to the TIB-intrusions (Andersson et al. 1992, Wikström & Larsson 1993, Wikström & Andersson 2004). A model with clockwise P-T path related to partial ‘overplating’ of TIB-magmas along southern Svecofennian margin resulting in loading with heating followed by a greater exhumation relative to the lower pressure areas further away, has been suggested by Andersson (1997).

The few attempts of estimating P-T conditions in northern Bergslagen by geothermobarometry have yielded rather inconclusive results. Stålhös (1991) approximated the regional metamorphism in NE Bergslagen to 500–650 °C and 3–4 kbars. Ripa (1994) reported conditions of 510–560 °C and 1–3 kbar for gedrite-cordierite-staurolite assemblages further west. Sjöström & Bergman (1998) calculated conditions for samples from NE Bergslagen to 450–650 °C and 1–6 kbar, but also obtained some anomalously high values up to 750 °C and 12 kbar.

In the presently ongoing study attempts have been made to decipher P-T conditions and paths for c. 20 Gt-bearing samples from widely scattered localities in northern Bergslagen using thermobarometric approaches. The results suffer from widely diverging values due to apparent lack of equilibrium between the minerals, and possible inapplicability of the barometric calibrations to the bulk chemistry of the rocks. Many of the samples lack Al-silicates, making the assemblage less well-constrained, and contain only Gt-Bt-Pl-Qz imposing the use of the empirically calibrated barometer of Hoisch (1990) for this assemblage. This barometer tend to yield very high pressures, often in the kyanite stability field even up to 12 kbar, as noted also by Sjöström & Bergman (1998) who tentatively attributed it to improper rock compositions. Garnets often show prograde growth zoning with decreasing Mn and Fe/(Fe+Mg) from core to rim, and Gt-Bt thermometry seem to yield reasonable results with peak temperatures varying from 450 to 700 °C, and retrograde rim equilibria between 350 and 600 °C. A few andalusite-bearing samples from NW Bergslagen appear to accurately record P-T values of 525–575 °C and c. 2 kbar. Some samples from the Stockholm–Uppsala area tend to give reasonable peak values of 600–700 °C and 3–5 kbar, which upon cooling enter the andalusite field. Two Gt-Cd-bearing samples from the high-grade area just north of Bergslagen yield peak conditions of >700 °C and 5–7 kbar. In the Larsbo area, the possibly pre-1.87 Ga metamorphic peak is 700–800 °C and <8 kbar.

References

- Andersson, U.B., 1997. The late Svecofennian, high-grade contact and regional metamorphism in southwestern Bergslagen (central southern Sweden). *Final report 970519, SGU-project 03-819/93*, 36 pp.
- Andersson, U.B., Larsson, L., Wikström, A., 1992. Charnockites, pyroxene granulites and garnet-cordierite gneisses at a boundary between Early Svecofennian rocks and Småland-Värmland granitoids, Karlskoga, southern Sweden. *GFF* 114, 1–15.
- Hermansson, T., Andersson, J., Page, L., Bergman, T., Stephens, M.B., 2004. Reconstructing the igneous and high-T tectonothermal history of the Forsmark area, south-central Sweden – implications from U-Pb (zircon) geochronology. 26th Nordic Geological Wintermeeting, Uppsala, 040106-09. *GFF* 126, 172–173.

- Hoisch, T.D., 1990. Empirical calibration of six geobarometers for the mineral assemblage quartz+muscovite+biotite +plagioclase+garnet. *Contr. Mineral. Petrol.* 104, 225–234.
- Lundström, I., 1995. Beskrivning till berggrundskartorna Filipstad SO och NO. *SGU Af 177, 185*, 218 pp.
- Lundström, I., Allen, R.L., Persson, P.-O., Ripa, M., 1998. Stratigraphies and depositional ages of Svecofennian, Palaeoproterozoic metavolcanic rocks in E. Svealand and Bergslagen, south central Sweden. *GFF* 120, 315–320.
- Persson, K.S., Sjöström, H., 2002. *Fold and shear accommodated convergence in eastern Bergslagen, central Sweden.*
In: Persson, K.S., Deformation zones in models and nature. Ph.D.-thesis, Uppsala University.
- Persson, K.S., Sjöström, H., 2003. Late-orogenic progressive shearing in eastern Bergslagen, central Sweden. *GFF* 125, 23–36.
- Öhlander, B., Romer, R.L., 1996. Zircon ages of granites occurring along the central Swedish gravity low. *GFF* 118, 217–225.
- Rickard, D., 1988. Regional metamorphism in the Bergslagen province, south central Sweden. *Geologie en Mijnbouw* 67, 139–155.
- Ripa, M., 1994. The mineral chemistry of hydrothermally altered and metamorphosed wall-rocks at the Stollberg Fe-Pb-Zn-Mn(-Ag) deposit, Bergslagen, Sweden. *Mineralium Deposita* 29, 180–188.
- Romer, R.L., Öhlander, B., 1994. U-Pb age of the Yxsjöberg tungsten-skarn deposit, Sweden. *GFF* 116, 161–166.
- Romer, R.L., Öhlander, B., 1995. Tectonic implications of an 1846±1 Ma old migmatitic granite in south-central Sweden. *GFF* 117, 69–74.
- Romer, R.L., Smeds, S.-A., 1997. U-Pb columbite chronology of post-kinematic Palaeoproterozoic pegmatites in Sweden. *Prec. Res.* 82, 85–99.
- Sjöström, H., Bergman, S., 1998. Svecofennian metamorphic and tectonic evolution of east central Sweden. *SGU-report*, 50 pp + figs.
- Stålhös, G. 1991. Beskrivning till berggrundskartorna Östhammar NV, NO, SV, SO. *SGU Af 161, 166, 169, & 172.* 249 pp.
- Wikström, A., Andersson, U.B., 2004. Geological features of the Småland-Värmland Belt along the Svecofennian margin. Part I: from the Loftahammar to the Tiveden-Askersund areas. *In:* Högdahl, K., Andersson, U.B. & Eklund, O. (Eds.), The Transscandinavian Igneous Belt in Sweden; a review of its character and evolution. *Geological Survey of Finland, Special Paper* 37, 22–39.
- Wikström, A. & Larsson, L. 1993. Geothermometry of garnet-cordierite rocks in Kilsbergen and northern Tiveden, southern Sweden. *GFF* 115, 339–344.

Karaktärisering av sprickzoner med den nya EnviroMT-tekniken

NIKLAS LINDE OCH LAUST B. PEDERSEN, Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala Universitet

Hydrogeological methods commonly provide invasive point samples at a very small scale (e.g., core samples, flow meter measurements in boreholes) or low-resolution methods on a larger scale (e.g., pump tests, tracer tests). It is well recognized that geophysical surveys can provide densely sampled estimates of physical properties in a largely non-invasive and cost-effective manner. A growing interest has therefore developed in using geophysical methods for hydrogeological investigations. Flow modeling in fractured media is a more difficult task compared with modeling in porous media largely because the flow is due to fractures with properties and abundances that vary widely in space. If geophysical methods could cost-effectively map fractures at a high resolution or provide effective properties of the fractured media this could provide important input to hydrogeologists. The aim of this project has been to evaluate how electromagnetic methods, more specifically the tensor Radio Magnetotelluric (RMT) method EnviroMT, can be used to map fracture zones. Three case-studies have been carried out within this project.

The first case study was carried out at File-Hajdar on Gotland where shales are overlaid by fractured limestones. Are the fractures in the limestones causing an electrical anisotropy on a regional scale (e.g., >100 m)? If so, can we estimate this anisotropy through inversion of tensor RMT data and show that the EnviroMT method is a better method compared with the commonly used azimuthal resistivity methods? We focus on a 380-m profile where we have six approximately co-located lithological logs that could be used to assess how well our models relate to the geology. The data have a clear anisotropic signature with a regional strike approximately to the north. One major advantage of tensor RMT compared with traditional DC resistivity configurations is that the data clearly tells us what dimensionality the earth has, in this case one-dimensional azimuthally anisotropic. We have developed a new inversion code to deal with earth structures such as the one at File-Hajdar. The ratio between the conductivities in the strike and the perpendicular direction is approximately 4. The depth to the conducting shale corresponds well with the lithological logs and 2-D isotropic inversion models. The major outcomes of this study were that we were able to show that the tensor RMT method is a more reliable and faster method than azimuthal resistivity methods. Furthermore, the RMT data allow us to invert the data, something that is not done in published azimuthal resistivity surveys. For details, see N. Linde and L.B. Pedersen, 2004, Evidence of electrical anisotropy in limestone formations using the RMT technique, *Geophysics* 69, 909–916, 2004.

The second case study was carried out on Ävrö, a small island ($1.6 \times 1.2 \text{ km}^2$) in south-eastern Sweden consisting of granites with hardly any sedimentary overburden. Research objectives included questions such as: can we estimate major fracture zones on the island even if the 3-D effects from the surrounding conductive sea is considerable and do these fracture zones correspond to the estimated reflectors from earlier acquired seismic reflection profiles and borehole data? We focus on a 950-m profile that is co-located with a seismic reflection survey and passes by a deep borehole where various hydrogeological and borehole geophysical measurements have been carried out. The data reveal large volumes of highly resistive bedrock (>10 000 ohm-m). The high resistivities create two problems in the interpretation of the data: first, that the effect of displacement currents are as important as conducting currents and most inversion codes neglect displacement currents; second, that the influence of the conductive sea is felt at large distances from the seashore (100's of m). The raw data indicate that the first 200 m of the profile is dominated by a major fracture zone (high conductivity); the central part by highly resistive intact bedrock; and the end part by a more conductive structure. Furthermore, a conductor is imaged at depth along the whole profile. First, we carried out one-dimensional inversion of the data both for the case where displacement currents are included and for the case where it is neglected whereby we can get a first view of the conductivity distribution and assess the effect of displacement currents. As expected, our inversion models largely correspond to what we can see in the raw data, even if we now get information as a function of depth and not frequency. One-dimensional inversion cannot be used to assess the influence of the sea and it is not a suitable approach when 2-D or 3-D features dominate the earth structure. Two-dimensional modeling that includes a 2-D description of the sea was the next step. However, we were still suspicious that the 3-D influence of

the sea could be imaged as a phantom conductor at depth, which could then be interpreted as a sub-horizontal fracture zone saturated with groundwater of high salinity. We carried out 3-D forward modeling to test what aspects of the model that we could resolve. We found that the fracture zone in the beginning of the profile can be modeled as a 150-m wide fracture zone with a strike to the north-northeast; that the conductor at depth is indeed a true conductor; and that the data do not support the preliminary conclusion of a fracture zone in the end of the profile. We suggest that few major fracture zones dominate water flow. For details, see N. Linde and L.B. Pedersen, 2004, Characterization of a fractured granite using radio magnetotelluric (RMT) data, *Geophysics* 69, 1155-1165, 2004.

The third case study was carried out at Lake Gårdsjön, located 50 km north of Gothenburg. The collected data was unfortunately not very useful. The primary reason for this probably was the cables that supply the research site with electric power.

The results of this project show that the tensor RMT method is one of the best tools to detect electrical anisotropy caused by fracturing or to map major fracture zones on a depth scale from a few meters up to a few hundred meters depending on the conductivity of the earth. However, care should be taken to avoid areas with power lines and buried cables.

Adresser till externa föredragshållare:

Ulf B. Andersson, Uppsala Universitet, Institutionen för Geovetenskaper, Villavägen 16, 75236 Uppsala.

Jon Petter Gustafsson, Kungliga Tekniska Högskolan, Institutionen för Mark och Vattenteknik, 10044 Stockholm.

Lennart Jeppsson, Lunds Universitet, Geologiska Institutionen, Sölvegatan 12, 22362 Lund.

Auli Niemi, Uppsala Universitet, Institutionen för Geovetenskaper, Villavägen 16, 75236 Uppsala.

Laust B. Pedersen, Uppsala Universitet, Institutionen för Geovetenskaper, Villavägen 16, 75236 Uppsala.

Adresser till SGUs föredragshållare:

Box 670, 751 28 Uppsala

Guldhedsgatan 5 A, 413 20 Göteborg