

danner basalt. Den del af magmaet der bliver tilbage i magmakammeret under riftzonen afkøler langsomt og bliver til gabbro.

Gennem de sidste 10 år mener man at have fundet ud af, hvordan Jorden så ud for 4000 til 4500 millioner år siden. Det synes som om Jordens overflade lignede vore dages havbund en hel del og udelukkende bestod af basalt. Island er stort set dannet på samme måde som havbunden, blot har magmaproduktionen her været så intens, at det basaltiske lag er blevet usædvanlig tykt, så overfladen findes over havniveau. Faktisk må man regne med at de allertidligste landmasser mindede en del om vore dages Island, se forsiden.

Narssaq - projektet 2

af John Rose-Hansen, Henning Sørensen og Chr. Overgaard Nielsen

I Ilimaussaq-intrusionen ved Narssaq i Sydgrønland findes to mine-ralforekomster, uranforekomsten ved Kvanefjeld og zirconiumforekomsten i Kangerdluarssuk. Da en eventuel fremtidig brydning og udnyttelse af disse to forekomster vil kunne få miljømæssige konsekvenser har en gruppe forskere med støtte af Statens naturvidenskabelige Forskningsråd (SNF) igangsæt et tværfagligt projekt, Narssaq-projektet med henblik på at kortlægge områdets nuværende naturgivne tilstand (se også Varv 1, 1978).

arter, der i sig selv er "unormale" på grund af deres relativt høje indhold af sjældne grundstoffer. Dette betyder, at de geologiske processer og tidens tand allerede har "gnavet" i forekomsterne og i de omgivende bjergarter, som er forvitrede og eroderede under luftens, vandets og isens indvirkning. Resultatet er en naturlig, det vil sige ikke menneske-betinget "forurening" i de tilgrænsende landskaber, elve, søer og fjorde.

En eventuel fremtidig minedrift vil medføre risiko for en yderligere forurening, en menneske-skabt forurening. Det siger sig selv, at denne skal holdes på et acceptabelt lavt niveau, hvis brydningen og oparbejdningen skal igangsættes. Ved fremtidige miljøkontrol-undersøgelser er det derfor vigtigt at kunne skelne mellem den naturlige og den menneskeskabte forurening, hvis da ikke de pågældende mineforetagender skal risikere at blive stillet over for det helt urimelige krav, at de også skal udslette sporene efter den natur-skabte "forurening", en proces som har stået på gennem årtusinder og som skyldes naturkræfter, der ikke lader sig dæmpe eller standse.

Narssaq-projektet omfatter også studier af nogle områder længere væk fra Ilimaussaq-intrusionen, de såkaldte referenceområder, hvor fjeldundergrunden er mere normal, og overvejende består af granit. Undersøgelserne i referenceområderne giver oplysninger om de naturgivne forholdsforløb og indvirken uden den forstyrrende effekt fra Ilimaussaqs bjergarter og mineraler.

At det naturskabte miljø inden for Ilimaussaq-intrusionen og dens nærhed allerede er præget af en ret høj grad af forurening, kan blandt andet ses af, at Narssaq elv stedvis har et fluorindhold, der ligger over det, der normalt anses for ønskeligt ud fra sundhedsmæssige betragtninger. Fluorindholdet stammer fra det vandopløselige mineral villiaumit (NaF), der er påvist i stor mængde i borekerner blandt andet fra Kvane-fjeld. Mineraliet ses ikke i overfladen, da det her allerede er opløst.

Målinger og beregninger har vist, at Narssaq elven siden sidste istid, det vil sige, i løbet af de sidste cirka 10.000 år har ført over 10.000 tons fluor ud i fjorden. I visse dele af elven er uranindholdet også højere end gennemsnitsværdierne for områdets elve, uden at dette dog indebærer nogen sundhedsfare for mennesker og dyr.

Naturskabte "forureninger" af denne type påvirker ikke alene jordbunden og vandets indhold af mere eller mindre uønskede grundstoffer, det geokemiske miljø, men har selvsagt også indflydelse på områdets plante og dyreliv, hvad enten nu dette udfolder sig på landjorden eller i det ferske og salte vand. Narssaq-projektet er derfor tilrettelagt som et tværvidenskabeligt projekt, med deltagelse af geologer, geokemikere, botanikere, terrestriske zoologer, marinbiologer, ferskvandsbiologer og hydrologer. Projektet udføres som et samarbejde mellem medarbejdere ved Grønlands geologiske Undersøgelse (GGU), flere institutter ved Københavns universitet og Afdelingen for Farmakologi og Toksikologi ved Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, og projektet er som nævnt baseret på økonomisk støtte fra Statens naturvidenskabelige Forskningsråd.

DEN RØDE TRÅD

Den røde tråd i Narssaq-projektet er at følge de enkelte grundstoffers vandring fra det øjeblik de af forvitningsprocesser løsnes fra de faste bjergarter og transporteres bort af nedsvivende og afstrømmende vand for derefter at indgå i jordbundsdannelsen eller blive ført ud i elve, søer og fjorde, hvor de indgår i det geologiske og biologiske kredsløb. Nogle forvitningsprodukter optages allerede nær forvitningsstedet i planter og dyr, mens andre optages af organismer langt fra forvitningsstedet. Grundstoffernes vandringsveje søges således belyst inden for rammerne af de økologiske systemer, der findes i området.

Ilimaussaq-intrusionen og dens omgivelser har været genstand for geologiske undersøgelser siden århundredeskiftet, og fjeldgrunden i hele området er af GGU geologisk kortlagt i målestoksforholdet 1 : 100.000 og

enkeltområder mere detaljeret. Da områdets kvartærgeologi og jordartsforhold imidlertid er mindre velkendt, omfatter projektet en udredning af istidens gletscheres bevægelse og en klarlægning af afsmeltningsforløbet som grundlag for en analyse af de løse dæklags geologiske historie. Et sådant kendskab er blandt andet en nødvendig forudsætning for at kunne vurdere, hvorledes de geokemiske forhold var, da pionerplanterne koloniserede de tidligere nedisede områder, og bedømme hvorledes den senere jordbundsudvikling er skredet frem.



Den første fase i grundstoffernes vandring er knyttet til selve forvitringen af det faste fjeld og i de løse ubevoksede aflejringer af smuldret bjergartsmateriale. Undersøgelsen starter derfor med prøvetagning i det uforvitrede fjeld med en transportabel kerneboremaskine, udhugning af store prøver af den faste forvitringsskorpe, og indsamling af prøver af ikke-transporterede smuldringsprodukter. Dette prøvemateriale analyseres kemisk for at klarlægge, hvad der sker med de enkelte mineraler under forvitringens nedbrydning af bjergarterne.

Forvitringsgrus og smuldrede bjergarter har flere steder dannet udgangsmateriale for en jordbundsdannelse, der startede, hvor planter indvandrede og dækkede materialet. Til belysning af jordbundsformationen er der gravet et stort antal huller i de forskellige bjergarters forvitringsskæker og jordbundsprofilerne er blevet omhyggeligt opmålt og beskrevet ligesom prøver fra de forskellige jordbundshorisonter er blevet udtaget til kemisk analyse.



Vegetationen (plantedækket) på Ilimaussaq-intrusionens bjergarter er meget sparsom set i forhold til de omgivende granitområders, og et af projektets formål har da også været at afklare, om dette skyldes forskelle i fjeldgrundens kemi eller dens forvitringsmåde. Ilimaussaq bjergarternes og de granitiske referenceområders plantedække er derfor undersøgt og kortlagt for at påvise mulige relationer mellem bjergarter og planter, samt i givet fald at bestemme de styrende økologiske faktorer. Ved kortlægningen er blevet udskilt en række plantesamfund som pilekrat, dværgbuskhede, fjeldhede og urteli, og et stort antal planteprøver (frø, blade, bark og rødder) er blevet indsamlet til kemisk analyse. Det er blandt andet blevet påvist, at yngleknopper på topspirende pileurt er gode indikatorer ("spørhundene") for de sjældne stoffer fra intrusionen, da knopperne optager disse stoffer i relativt stor mængde, hvor de har været tilgængelige for planterne. Ved at studere områder, hvor vegetationen blev ryddet i 1960, har det kunnet eftervises at planternes indvandringshastighed som forventet er uhyre langsom.



Jordbundsudviklingen inden for intrusionen er gennemgående på et begyndende stadium og egentlig horisontudvikling er begrænset til få og små områder. Den mest fremskredne jordbundsdannelse, som er konstateret, er podsoljorde. Billedet viser eksempel på et forholdsvis veludviklet profil, hvor der øverst findes en morhorisont efterfulgt af et tydeligt blegsandslag og derunder al-dannelse. Profilet viser, at jernet, der er fjernet fra blegsandslaget, er genafsat i dybere niveau.

Foto: Carsten Langtofte.



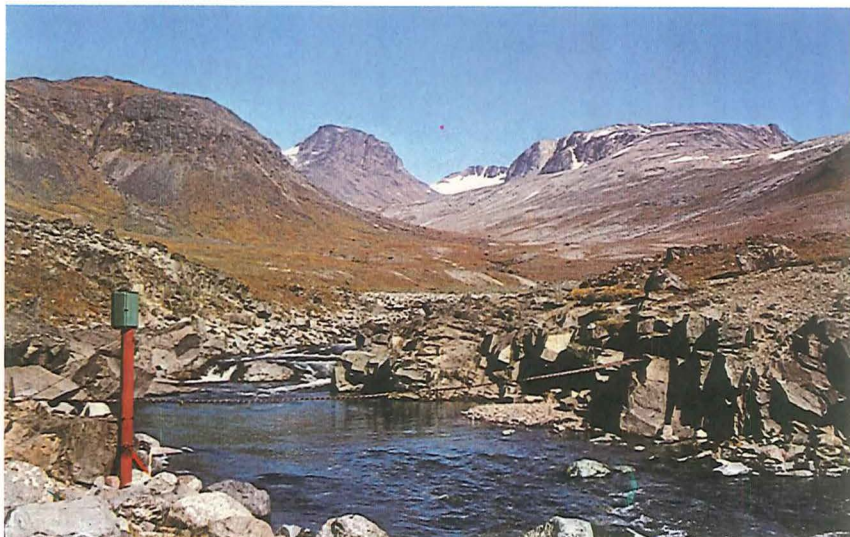
Da områdets marinibiologi næsten var ukendt ved projektets start blev den første sæson brugt til en generel undersøgelse af dyre- og plantelivet i det salte vand samt til at finde frem til de organismer, der bedst egner sig som indikatorer for de grundstoffer, som præger området. Herefter har undersøgelsen været koncentreret om at kortlægge tungmetalkoncentrationer i havvandet og i udvalgte organismer. De naturlige koncentrationer i området er blevet specielt belyst ved hjælp af kemiske analyser af forskellige dele af blåmusling og af store tangplanter. Der er konstateret høje koncentrationer af visse af de metaller som er karakteristiske for Ilimaussaq-intrusionens bjergarter, for eksempel alle lanthaniderne (de sjældne jordarters metaller). De høje koncentrationer findes især omkring udløbet af de elve, som afvander intrusionen. Koncentrationerne er højest i Narssaq elvens delta, noget lavere i udløbene af Lilleelv og Lakseelv i Kangerdluarssuk.

Fjordvandets hydrografiske forhold (det vil sige temperatur, saltholdighed og iltindhold) er blevet studeret i fjorden Kangerdluarssuk, der skæ-

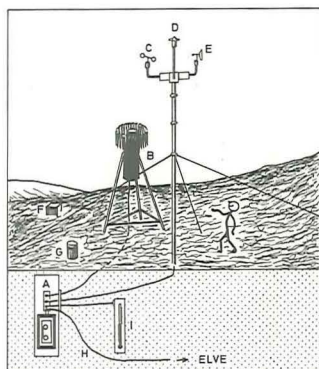
rer gennem Ilimaussaq-intrusionens sydlige halvdel. Hertil benyttedes elektronisk og mekanisk udstyr, og der blev taget et stort antal vandprøver til kemisk analyse. Ekkolodundersøgelser har vist, at Kangerdluarssuk er en tærskelfjord, hvor der inden for tærsklen og under tærskeldybde (40 meter) i store dele af året er en meget kold og stagnerende vandmasse, som kun i ringe grad udveksles med de overliggende vandlag. De kemiske undersøgelser har blandt andet vist, at der i fjorden lokalt findes vandlag med meget høje zinkindhold.



Formålet med de limnologiske undersøgelser har været at bestemme den kemiske sammensætning af vandet i søer og elve, samt at undersøge hvorvidt de kemiske variationer afspejles i dyr og planter. Endvidere er størrelsen af planktonproduktionen, det første led i søernes fødekæde, søgt bestemt ved at måle organismernes optagelse af radioaktivt kulstof. De foreløbige resultater har vist, at søerne er ekstremt næringsfattige, idet flere dog har en stor produktion af kiselalger. Den lave primærproduktion giver søerne en meget stor sigtdybde og dermed en dyblå farve.



Narssaq elvdal. I forgrunden til venstre vandstandsmåler, midt i billedet smeltevandsterrasser. Kvanefjeld ses til venstre i billedet. I baggrunden Narssaq gletscher og til venstre for denne Ilimaussaq fjeld.



Meteorologisk station ved Narssaq. En datalogger (A) indkoder signalerne på magnetbånd. Signalerne informerer om temperatur (F), luftfugtighed (F), nedbør (B og G), vindretning og -styrke (E og C), solindstråling (D), jordtemperatur (I) og vandstanden i tre elve (H). vandstanden omsættes til total vandføring.

Et indgående kendskab til de klimatiske forhold, det vil sige nedbør, temperatur, luftfugtighed, vindretning, vindstyrke og så videre, samt til vandføringen i elvene er en forudsætning for den endelige vurdering af resultaterne af de ovenfor nævnte delprojekter.

Klimatiske undersøgelser er foretaget i Narssaq-området siden 1965 som led i den internationale hydrologiske dekade. Undersøgelserne er i væsentlig udvidet form fortsat under Narssaq-projektet, og blev i 1975 yderligere udvidet til at omfatte helårs-registrering gennem opstilling af to automatiske meteorologiske stationer.

I målingerne af vandbalancen i Narssaq elvdal indgår bestemmelse af afsmeltning og nedbør med mere på Narssaq-gletscheren, hvorfra Narssaq elv udspringer. Der er i Narssaq elv målt en vandføring på 1-15 m³/sekund. Nedbøren i området varierer fra 1000 til 3500 mm pr. år inden for korte afstande.

DEN RØDE TRÅD MÅ IKKE BRISTE.

Narssaq-projektets røde tråd er som nævnt at fastlægge de enkelte grundstoffers vandring fra de faste klipper og ud i det omgivende miljø. De koncentrationer, der er tale om, varierer fra flere procent til ppb-niveauet (ppb = parts per billion, det vil sige 1 pr. 1.000.000.000) - 1 mg pr. ton). Det er derfor nødvendigt at forhindre, at de indsamlede prøver kontamineres (forurenes) i forbindelse med prøvetagningen og forsendelsen eller under selve analysearbejdet. Man kan for eksempel ikke benytte metalværktøj til indsamling af jordprøver, idet dette kan forurene prøverne med metaller. Vand må indsamles i beholdere belagt med et materiale, som ikke tilfører prøverne uønskede stoffer eller binder vandets opløste stoffer. Jordprøver, det biologiske materiale og vandprøverne er blevet nedfrosset i lejrene og transporteret til Danmark i frosset tilstand. Her opbevares materialet i dybfryser, indtil videre behandling foregår.

Som et eksempel på den omhu der bør udvises ved prøvetagningen kan nævnes, at hvis et enkelt korn af eudialyt på 1 mm³ overses ved rensningen af en musling (1 gram tørvægt) vil dette medføre en forurening af analysen beløbende sig til cirka 400 ppm Zr, 30 ppm Nb og 200 ppm sjældne jordartsmetaller.

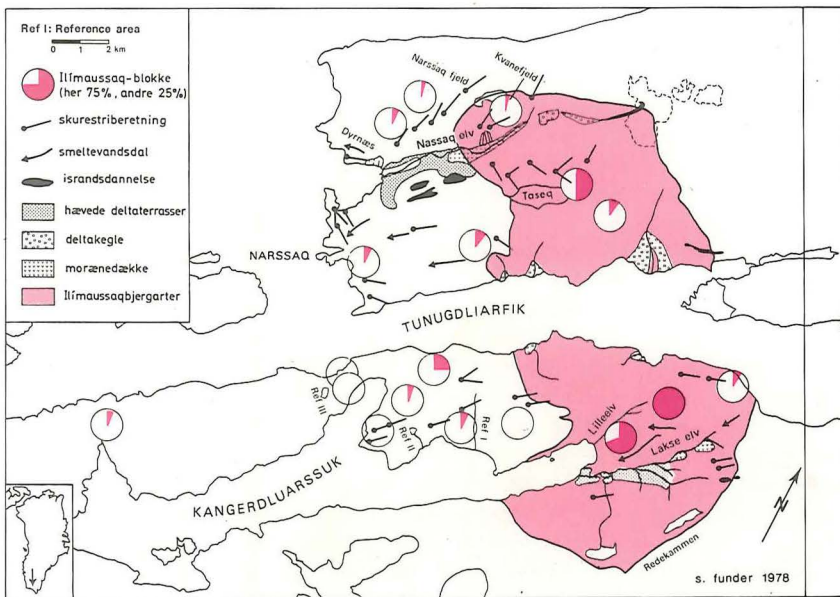
Men selv om alle sikkerhedsforanstaltninger mod forurening af prøvematerialet tages, hører problemerne ikke op hermed. Den røde tråd kan også bryde under selve analysearbejdet. Dette skal udføres, således at så mange grundstoffer som muligt, også de sjældne, kan bestemmes, prøveoparbejdningen skal være enkel og detektionsgrænsen (mindste bestemmelige mængde) skal være lav. Det sidste gælder især de biologiske prøver. Endelig er det vigtigt, at den anvendte analysemetode er ikke-destruktiv, så analysen kan gentages og andre undersøgelser kan udføres på den samme prøvemængde. Den prøvemængde, der er til rådighed er i nogle tilfælde kun få milligram, i andre tilfælde flere gram.

Næsten alle disse krav og betingelser opfyldes af én metode, instrumentalneutronaktiveringsanalyse (INAA), hvor prøvematerialet udsættes for en nøje defineret bestråling med neutroner i en reaktor. Mange af prøvens grundstoffer omdannes derved til radioaktive isotoper. Ved måling af gammastrålingen, der udsendes fra de således dannede isotoper, kan indholdet af de aktiverede grundstoffer bestemmes. Denne metode gør det muligt at analysere for cirka 38 grundstoffer med en rimelig lav detektionsgrænse. Bestrålingen foretages i Risø's DR-3 reaktor, og analysegangen er blevet udviklet som led i Narssaq-projektet. Ved prøvetilberedningen af det biologiske materiale er frysetørring blevet benyttet med henblik på at opkoncentrere indholdet af sjældne grundstoffer.

På afdelingen for farmakologi og toksikologi ved Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole er prøvernes indhold af methykviksølv og pesticider endvidere blevet bestemt, og enkelte prøver er blevet analyseret for total kviksølv for at sikre overensstemmelse med de ved INAA fundne værdier. Det undersøgte materiale har som forventet et uhyre lavt indhold af pesticider og de analyserede grønlandske fisk har vist sig at høre til de mindst "forurenede" i Verden.

STATUS OVER DET RØDE GARNNØGLE

Narssaq-projektets første hovedfase med feltarbejde blev afsluttet i 1976, og det meste af det omfattende prøvemateriale er nu analyseret ved INAA. Men selv om flere af projektdeltagerne har afsluttet delundersøgelser, vil en samlet redegørelse for det naturlige miljø i Narssaq-området ikke kunne forventes at foreligge før end om 2-3 år. Dette vil imidlertid også blive i rimelig god tid, før en eventuel mineaktivitet vil kunne startes op, så opfyldelsen af projektets formål skulle være sikret.



Under istiden hvor havniveauet lå meget lavere, var området dækket af is, der bevægede sig gennem fjorddalene og bragte sten og blokke fra Ilimaussaq-intrusionen med sig mod vest. Kvartærgeologiske undersøgelser, der er foretaget som led i Narssaq-projektet har imidlertid vist, at sten og blokke fra intrusionen ikke er særlig hyppige uden for intrusionen, og kommer man blot 5-10 km væk, er de sjældne. En sammenligning af deres udbredelse med udbredelsen af andre istidsblokke i området antyder, at Ilimaussaq-bjergarterne har været særligt "skrøbelige": de er blevet knust og formalede under transporten og afsat som bjergartsmel, der nu indgår som en betydelig naturlig forurening af jordbunden i en zone, der mindst strækker sig 10 km mod vest fra Ilimaussaq-intrusionen.

Dateringer af grønlandsk materiale foretaget på Nationalmuseets og Danmarks geologiske Undersøgelser Kulstof-14 laboratorium, tyder på, at isen smeltede bort for 10.000 - 11.000 år siden. Tallene angiver den tid forvitrings og de jordbundsdannende processer har påvirket det isfri land.