

# Narssaq - projektet

ET MILJØGEOKEMISK -

ØKOLOGISK FORSKNINGSPROJEKT

af Henning Sørensen og John Rose-Hansen.

Mineralforekomster er som alle andre geologiske dannelser bestanddele af det naturlige miljø. Mineralbrydning vil derfor uundgåeligt påvirke landskab og livsbetingelser omkring en mine. Bare for 10-20 år siden traf man kun i begrænset omfang forholdsregler over for denne påvirkning - især beskyttelse af de landskabelige værdier. Man var i mindre grad opmærksomme på den forurening, som ledsager al minedrift.

I de seneste år er billedet ændret totalt. I mange lande kræves, at der udarbejdes miljøerklæringer, tildels baseret på omfattende undersøgelser, før der gives tilladelse til åbning af en kulmine, bygning af en fabrik, et kraftværk og så videre.

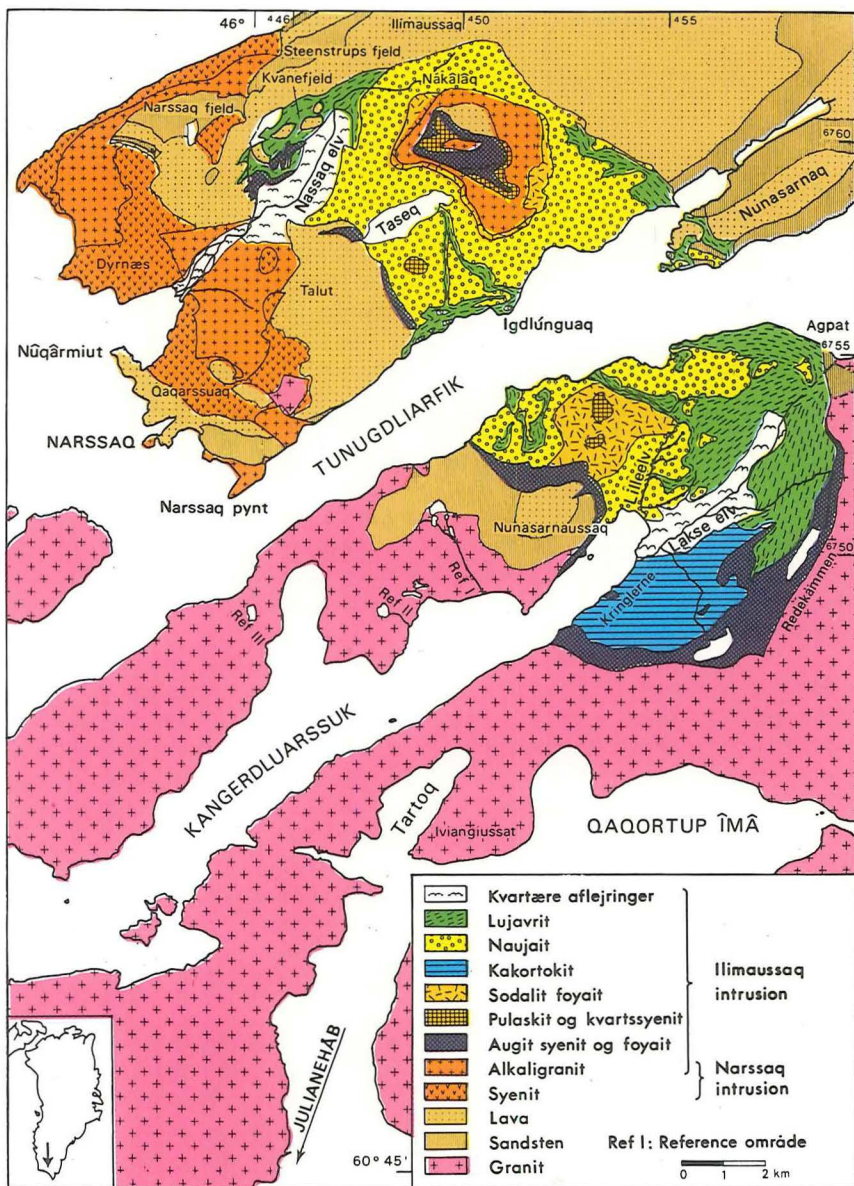
Miljøhensyn har fået en fremtrædende plads i overvejelserne vedrørende udnyttelsen af Grønlands mineralrigdomme. Der foretages for eksempel løbende kontrol af miljøpåvirkningen omkring bly-zink-minen ved Marmorilik, og den eventuelle fremtidige udvinding af olie på sokkelområdet vil blive nøje overvåget.

At man lægger så stor vægt på miljøside af mineraludvinding i Grønland, skyldes, at det kolde klima og de korte somre gør Grønlands natur særligt sårbar over for miljøpåvirkning. Det vil tage mange år for naturen at hele de sår og overvinde de skader, som minedrift kan medføre.

Ved byen Narssaq i Sydgrønland findes et område, som er meget rigt på sjældne mineraler og dermed grundstoffer. Det er Ilimaussaq-intrusionen, som ligger øst for byen - se kortet og Varv 1967,2 - 1968,4 og 1977,4. Intrusionen, som opbygges af nefelinsyeniter, har været genstand for detaljerede geologiske undersøgelser i de sidste 20 år. To typer af mineralforekomster skønnes at kunne blive brydeværdige i en nærmere fremtid: uranforekomsterne ved Kvanefjeld i den nordlige del af intrusionen og zirconiumforekomsterne i den sydlige del på sydkysten af fjorden Kangerdluarssuk.

Vi skal ikke her gøre rede for disse forekomsters geologi eller for anvendelsen af de pågældende grundstoffer - men vil begrænse os til de miljøundersøgelser, som har været udført ved Narssaq siden 1974.

I 1973 var der på Institut for Petrologi, Københavns Universitet, stor interesse for at indlede miljøgeokemiske undersøgelser i Grønland i et område, hvor minedrift kunne forventes. Efter drøftelse af programmet med Grønlands geologiske Undersøgelse (GGU) fandt man frem til, at sådanne undersøgelser bedst kunne igangsættes ved Narssaq. Da Statens naturvidenskabelige Forskningsråd (SNF) på samme tid nedsatte et udvalg vedrørende



GEOLOGISK KORT efter G.G.U.



Udsnit af topografisk model af Narssaq-elvdal udført af byggeleder Ivan Bohm, Narssaq. Dyrnæsbugten ses midt i billedet. Til højre for denne findes Narssaq, som strækker sig ud til Tunugdliarfik fjorden til højre i billedet.



Krystal af mineralet steenstrupin, det vigtigste uranholdige mineral i malmen fra Kvanefjeld (foto Geologisk Centralinstitut).

biologisk forskning i Grønland, lå det lige for at samarbejde bestræbelserne i et fælles miljøgeokemisk-økologisk projekt - Narssaq-projektet. Fra 1974 har dette projekt kørt som et treårigt tværvidenskabeligt forskningsprogram.

Formålet var:

- at etablere en forskningsmæssig baggrund for vurdering af miljøpåvirkningen ved en eventuel minedrift.
- at fastlægge det "jomfruelige" områdes "naturlige forurening" og indhold af fjerntransporterede miljøgifte, som DDT, PBC med mere for gennem senere gentagelse af undersøgelserne at kunne vurdere ændringer i den globale forurening.
- at foretage indgående undersøgelser af de forskellige grundstoffers geokemiske og biogeokemiske kredsløb i et arktisk miljø, hvor fjeldgrunden har en særpræget kemisk sammensætning.

Man valgte at koncentrere undersøgelserne i tre delområder:

1. Narssaq-elvområdet nordøst for Narssaq, hvor blandt andet Kvanefjeldsforekomsterne er beliggende. Elvsystemet har siden 1965 været hydrogeologisk undersøgt, idet området var udvalgt som et repræsentativt bassin under den 'Internationale Hydrologiske Dekade'.
2. Bunden af fjorden Kangerdluarssuk med blandt andet zirconiumforekomsterne.
3. Nogle referenceområder i grundfjeldets graniter, som nefelinsyeniterne er intruderet i. Referenceområderne findes i Kangerdluarssuk få km vest for intrusionen.

Formålet med at foretage detaljerede undersøgelser af det naturlige geokemiske og biologiske miljø i et granitområde er at skaffe oplysninger om, hvorledes et miljø underlejret af "almindelige" bjergarter påvirkes af de klimaforhold og de ydre processer, som også påvirker de i geokemisk henseende særprægede nefelinsyeniter.

Feltundersøgelserne er nu afsluttet, og det meget store datamateriale er under bearbejdelse. I en senere artikel vil vi gennemgå de delprogrammer, som tilsammen udgør projektet, idet vi først må have et overblik over de miljøpåvirkninger, som mineralbrydning i Narssaq-området vil kunne medføre, og som i givet fald skal kunne overvåges og reguleres, blandt andet på grundlag af Narssaq-projektets resultater.

## UDVINDING AF URAN AF KVANEFJELDSMALMEN

En eventuel udvinding af uran i Kvanefjeldsområdet vil foregå på den måde, at uranmalmen brydes i et eller flere åbne dagbrud. Malmen knuses ned, og materialet transporteres derefter til en fabrik, der skal opføres så nær minen som muligt. I fabrikken vil malmens indhold af uran og andre grundstoffer som zink, niobium, de sjældne jordarters metaller, thorium, fluor m.m. blive udvundet hovedsagelig ved kemiske processer, der resulterer i store mængder fast og flydende affald.

Uranmalmen har et gennemsnitligt uranindhold på ca. 300 g per ton (0,03 % = 300 ppm), hvoraf næppe mere end 80 % vil kunne udvindes. En produktion på cirka 1000 ton uran om året vil derfor medføre brydning af mindst 4 millioner tons malm, som skal finknuses og sendes igennem den kemiske fabrik. Resultatet bliver 1000 tons uran, forskellige biprodukter, hvis art og mængde ikke kan beregnes, før processen er fastlagt, og dertil mindst 4 millioner tons fast affald fra fabrikken, hvortil kommer det bjergartsaffald, som skal bortsprænges i minen, for at give plads for brydning af malmen. Mængden af fast affald vil således andrage flere millioner tons, som på grund af knusningen fylder væsentlig mere end malmen, da den sad i fjeldet (fragmenterne er løsere sammenpakket end i de hårde bjergarter). Man vil kunne skaffe noget af affaldet af vejen ved at fylde op i de tømte uranbrud, men en væsentlig del skal enten udledes i fjorden eller oplagres i dalen. Udledning i fjorden synes på forhånd at være en dårlig ide - dels på grund af risikoen for at forurene et fjordkompleks, som danner grundlag for fangst og fiskeri, og dels på grund af affaldets indhold af værdifulde grundstoffer, som eventuelt senere kunne blive økonomisk værdifulde. Man vil derfor nok vælge en oplagring i dalen.

Det skal lige indskydes, at en eventuel udvinding af zirconium i Kangerdluarssuk ligeledes vil omfatte brydning og knusning af flere millioner tons malm om året, men her vil man nok sigte mod at oparbejde et koncentrat af de mineraler, som indeholder de værdifulde grundstoffer, nemlig foruden zirconium, niobium og de sjældne jordarters metaller. Produktet (koncentratet) vil først og fremmest bestå af mineralet eudialyt og vil blive koncentreret ved fysisk adskillelse af malmens mineraler - separation efter vægtylde og magnetiske egenskaber. Der skal derfor næppe opføres en fabrik til fremstilling af zirconium og ledsagestoffer ud fra koncentratet, og dermed begrænses forureningen i meget væsentlig grad.

## MILJØMÆSSIGE FØLGER AF URANUDVINDING

### VED NARSSAQ

Alle led i udvindingen af uran vil kunne påvirke det naturlige miljø i Narssaq-området, og vi vil derfor betragte uranudvindingen led for led.

#### 1. BRYDNING AF URANMALME I ÅBNE DAGBRUD

De åbne brud vil blive anlagt således, at man med diesel- eller el-biler kan køre fra overfladen til bruddenes bund på et system af "bænke" langs bruddenes sider. De enkelte bænke er forbundet med hinanden i spiralform. Brydningen foregår da ved, at bænkenes bagvægge, som vil være mindst 3 m høje, flyttes bagud. Det sker ved bortsprængning af hele vægsektioner. Brudstykkerne neddeles af maskiner og ved nye sprængnin-



Kvanefjeld set fra sydsiden af Narssaq-elvdal. Den lille knop på fjeldet til venstre er selve Kvanefjeld. Den mørkere bjergart, der findes i dette fjeld, er lava, som overlejrer den grålige radioaktive bjergart. Mineskakten fra 1962 ses som en lille sort prik til venstre i billedet i kanten af plateauet. Fjeldet til højre er Steenstrups fjeld. De radioaktive lujavriter fortsætter i foden af dette fjeld, hvis top består af lava (foto H.Sørensen).

ger, og det neddelte materiale bringes af transportvogne til knuseværket, hvor det finknuses til mel med kornstørrelser under 1 mm. Knuseværket vil kunne placeres i kamre sprængt ud i fjeldet.

Disse processer ledsages af støj, støv, udstødningsgasser fra maskiner og køretøjer og frigivelse af den radioaktive luftart radon. Støjproblemet omfatter larm fra maskineri, køretøjer og fra sprængninger. Problemerne er velkendte og vil blive begrænset til et minimum ved støjdæmpning af maskiner og så videre. Det skal her bemærkes, at Narssaq ligger cirka 10 km fra forekomsten, hvorfor kun bragene fra de større sprængninger vil kunne høres i byen.

Støvproblemet er nært knyttet til sprængninger, opsamling af det nedsprængte materiale, knusning og transport. Støvafgivelse må begrænses til et meget lavt niveau af hensyn til minearbejderne. Hvis det skulle vise sig, at der afgives uacceptable mængder støv, hvad man dog ikke kan udtale sig om på det foreliggende grundlag, vil støvmængden kunne holdes nede ved blandt andet fugtning af minevægge og veje med vand. Knusning i underjordiske kamre vil også begrænse støvafgivelsen, idet støvet



Narssaq-elvdal set fra bunden af dalen. Fjeldet længst til højre er Steenstrups fjeld, Kvanefjeld ses midt i billedet. De radioaktive bjergarter findes under lavadækket i Kvanefjeld og Steenstrups fjeld og kan ses som grålige smuldrende bjergarter i foden af de to fjelde. Mellem fjeldene ses Kvanefjeldets plateau. I udmundningen af dalen ses Dyrnæsbugt. Narssaq ligger til venstre for bugten. Dette og andre fotos viser, at Narssaq-elvdal er bred og forholdsvis plan. Det bliver nok her uranfabrikken og dele af det faste affald skal placeres (foto H.Sørensen).

her kan opsamles i støvfiltre. Eventuelle støvdannelser vil ivotrigt hurtigt blive spredt, idet det næsten altid blæser på Kvanefjeldsplateauet.

At støvafgivelsen skal begrænses skyldes hovedsagelig to forhold. Malmen er en silikatbjergart, hvorfor indånding af større støvmængder vil kunne fremkalde lungesygdommen silicose. Dertil kommer, at der er tale om radioaktivt støv, selvom malmen med det lave uranindhold må karakteriseres som et svagt radioaktivt materiale.

Hvad udstødningsgasserne angår, gælder samme regler som på andre arbejdspladser, der anvender tungt materiel.

Den radioaktive luftart radon er et stort problem i underjordiske uranminer, som derfor skal have meget kraftige ventilationsanlæg. Den regnes ikke for noget problem i dagbrud, hvor den hurtigt opblandes i atmosfæren og føres væk af vinden.

Radon dannes ved den radioaktive nedbrydning af uran og undviger med stor lethed. Den nedbrydes med en halveringstid på 3,8 døgn til

stærkt radioaktive faste datterprodukter, som udsender alfastråler. Ved indånding af radon afsættes disse stoffer i lungevævet og kan fremkalde lungekræft. Det er altså med god grund, at man sætter hårdt ind mod radonforurening, hvor dette er nødvendigt, som i underjordiske mineskakter.

Det bør tilføjes, at malmen er så fattig på uran og thorium, at den radioaktive stråling fra minevæggene ikke vil frembyde noget stort problem.

## 2. OPARBEJDNING AF MALMEN

### OG UDVINDING AF URAN

Man har endnu ikke færdigudviklet den metode, som skal anvendes til at trække uranet ud af Kvanefjeldsmalmen. Det vides for eksempel ikke, om det vil være muligt at foretage en fysisk opkoncentrering af uranmineralerne før den kemiske behandling, eller om man skal behandle hele malmængden med kemikalier til trods for, at der kun er ca. 300 g uran per ton malm.

Vælger man at foretage en fysisk opkoncentrering, vil der som ved brydningen være støj-, støv- og radonproblemer.

Det udviklingsarbejde, som i mere end 20 år er udført på Risø, har resulteret i en udvindingsproces, hvor den knuste malm omdannes til cm-store piller, som derefter ved cirka  $700^{\circ}$  C bringes til at reagere med svovldioxid ( $SO_2$ ). Efter denne behandling kan uran udtrækkes af pillerne med vand. Denne proces er netop afprøvet med godt resultat i et "pilot"-anlæg på Risø. Desværre er det kun dele af forekomsten, som kan behandles med denne metode. Malm fra andre dele giver kun et udbytte på 15-20 % af malmens uranindhold. Det vil derfor være nødvendigt at udvikle andre udvindingsmetoder.

Af disse grunde kan man endnu ikke vurdere de forureningsmæssige følger af selve udvindingen. Vælger man behandlingen med  $SO_2$  vil der opstå en stor risiko for svovlforurening. En udvinding af cirka 1000 tons uran om året med denne metode vil kræve en mængde  $SO_2$  svarende til mere end 200.000 tons svovlsyre per år. Denne mængde  $SO_2$  skal fremstilles på stedet. Der vil derfor være risiko for svovlforurening i  $SO_2$ -fabrikken, ved uranudvindingen, ved deponeringen af det faste affald fra uranudvindingen og fra det flydende affald. Svovlforurening af  $SO_2$ -fabrikken og fra reaktionen ved  $700^{\circ}$  C mellem uranmalmen og  $SO_2$  adskiller sig i princippet ikke fra svovlforurening fra andre former for malmbehandling. Der findes dog metoder til at holde forureningen inden for de fastsatte grænser.

Vælger man en anden udvindingsmetode, må denne også baseres på at fremstille en væske med uran i opløsning. Fra uranopløsningsne udfældes uran til slut som et gult pulver, "yellow cake", der indeholder 60-70 % uran, og hvis sammensætning iøvrigt varierer med den benyttede me-



tode. Man skulle på forhånd vente, at det meget uranrige produkt er stærkt radioaktivt, men det er ikke tilfældet. Den kemiske behandling har nemlig rensset urankoncentratet for de stærkt radioaktive nedbrydningsprodukter, som er overført til det faste og flydende affald fra oparbejdningen.

### 3. AFFALDSDEPONERINGEN

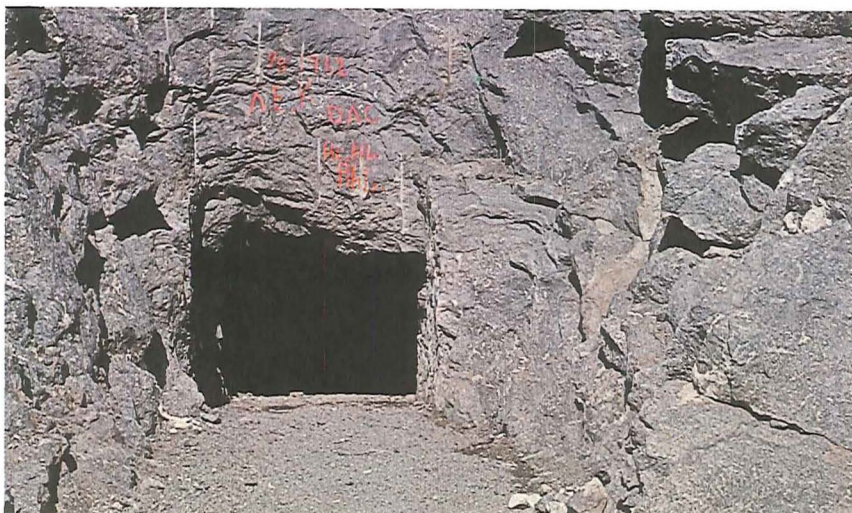
En uranudvinding ved Narssaq svarende til cirka 1000 tons uran per år vil helt sikkert resultere i mindst 4 millioner tons fast affald per år, eller mindst 2.500.000 kubikmeter, og en endnu ukendt mængde flydende affald. 2.500.000 kubikmeter vil i et 25 meter tykt lag optage et område, som måler 100 x 1000 meter.

Det flydende affald vil dels omfatte de opløsninger, som uranet er udfældet af, dels vand, som har været anvendt til køling, skylning med mere. Der skulle være gode muligheder for at recirkulere opløsningerne, som vil indeholde tungmetaller med mere, således at der kun afgives forsvindende små mængder til det naturlige miljø. Dette må nok være et naturligt krav for godkendelse af et mineprojekt, idet miljøet vil være yderst sårbart for sådanne opløsninger. Skyllevandet indeholder støv og vil næppe efter rensning frembyde nogen større forureningsrisiko.

Værre er det med det faste affald, som vil indeholde uran, datterprodukter fra urans radioaktive nedbrydning, såsom radium og radon, tungmetaller, fluor, eventuelt svovlsyre med mere. Disse stoffer vil kunne blive udvasket, hvis nedbør får adgang til affaldsbunkerne, og vil i så fald føres ud i elve, søer og fjorde. En ukontrolleret udledning af disse stoffer vil kunne få uoverskuelige konsekvenser for dyre- og plantelivet i området. Affaldet skal derfor placeres under kontrollerede forhold. Det vand, som siver gennem bunkerne, skal opsamles og renses, før det ledes ud i elve eller fjorde. Løvrigt skal man gennem komprimering af bunker og tildækning med vandstandsende materiale begrænse nedsivningen mest muligt. Denne sidste foranstaltning er også påkrævet for at forhindre, at luftarten radon undviger fra affaldet. Ganske vist vil en udsivning af radon ikke frembyde nogen fare for befolkningen i området, fordi den hurtigt opblandes i luften og føres væk. Men en udsivning af radon fra store uranminer mange steder på jorden vil kunne medvirke til en uacceptabel forhøjelse af radioaktiviteten ved jordoverfladen for vore fjerne efterkommere.

### 4. TRANSPORTER

Brydning af nogle millioner tons malm og fjeld indebærer ikke blot transport af malm til knuseværk og fabrik, men også transport af affald væk fra fabrikken og af kemikalier, brændstof, bygningsmaterialer med mere til fabrik og mine. En stor del af denne transport vil ske ved hjælp af motor-køretøjer, hvilket kræver omfattende vej anlæg og forurening fra disse, også i byen Narssaq. En del af transporten af materiel bør derfor ske ved transportbånd og rørsystemer.



Mineskakten på Kvanefjeld, hvorfra der i 1962 blev hentet små 200 tons uranmalm til Risø. Skakten er vandret, cirka 20 m lang, og den er placeret i en uranrig bjergart rig på små lyse analcimårer (foto H.Sørensen).



Bunden af Kangerdluarssuk. Til venstre ses Lilleelv, som løber i klipper helt opbygget af nefelinsyeniter. Til højre de bandede kakortokiter, i hvilke de zirconiumrige lag findes. De sidstnævnte er knyttet til den øverste del af de mørke lag og kan anes på grund af en rødlig farve (foto H.S.).

Bekæmpelse af forureningen fra transporterne kræver, at alle anlæg og operationer nøje planlægges, før planerne for uranudvinding kan sættes i gang.

## 5. LANDSKABSØDELÆGGELSE

Uranminerne, fabriksanlæg, affaldsdeponering og transportanlæg vil ikke kunne undgå at skæmme den meget smukke Narssaq-elvdal. Man vil nok kunne gemme selve de åbne brud bag uforstyrrede klippevægge, således at man ser meget lidt til de store huller nede fra dalen eller fra Narssaq. Men bygninger og veje kan ikke skjules, ej heller affaldsbunkerne. De sidste vil dog kunne placeres bagest i dalen og bagest på Kvanefjeldsplateauet på en sådan måde, at de, når de er dækket af bevoksning, nok vil give et ændret landskabsbillede, men ikke nødvendigvis et grimt landskab.

Også disse aspekter af uranbrydningen kræver nøje planlægning.

## MINEDRIFTEN OG DET LOKALE SAMFUND

Myndigheder og borgere i byen Narssaq frygter nok mere de sociale problemer knyttet til en eventuel minedrift end forureningen af det naturlige miljø, og denne drejning skyldes ikke mindst Narssaq-projektets igangværende miljøundersøgelser.

Hvad vil det betyde for en by med 2-3000 indbyggere, at der skal beskæftiges 800-1000 mennesker, når mine og fabrik anlægges, og måske 500 til driften af mine, fabrik og transport og hvordan vil tilflyttere af sandsynligvis mange nationaliteter kunne integreres i det lokale samfund? Og hvad vil der ske, når minerne er udtømte?

Disse problemer er ikke mindre påtrængende end beskyttelsen af naturen omkring Narssaq. Kommunalbestyrelsen i Narssaq har derfor nedsat en minekomite, til at sikre, at man gennem fremsynet planlægning kan skaffe indtægter og beskæftigelse til byen, uden at denne omdannes til et nyt Klondyke.

## NARSSAQ - PROJEKTET

Selv om man i mine og fabrik træffer alle mulige sikkerhedsforanstaltninger, vil det næppe kunne undgås, at der tilledes forurenende stoffer til det naturlige miljø. Det er derfor vigtigt, at man på forhånd kender miljøets "naturlige forureningstilstand", således at man kan kontrollere udledningen og fastsætte de grænser, man skal holde sig inden for. Det er med henblik på at fastlægge den "naturlige forurening", det vil sige det naturlige miljøes indhold af de grundstoffer, som findes i fjeldgrunden, at Narssaq-projektet er sat i gang, således som det vil blive beskrevet i en efterfølgende artikel.



I forgrunden den geologiske base Dyrnæs. Kvanefjeld ses over bilerne, bag dette Ilimaussaqfjeld. Det ses, at dalen er bred med god plads til fabriksanlæg og en del af affaldsbunkerne.

## Italienske vulkaner

af Sten Lou.

I Italien findes et righoldigt udvalg af både aktive og uddøde vulkaner. Mange har måske travet rundt på disse uden at vide det, bortset fra når turen er gået til Vesuv eller andre aktive vulkaner, som er kendt fra udbrud i nyere tid.

På figur 1 er vist nogle af de vigtigste vulkanske områder i Italien. De kan inddeles i to hovedgrupper, idet de vulkanske bjergarter som forekommer mod nord (1-7) og helt mod syd (17) er rige på silicium ( $\text{SiO}_2$ ), mens bjergarterne ved de øvrige lokaliteter (8-16) er fattige på silicium.