

VARV

NR. 2 BLADET MED DE ÆLDSTE NYHEDER 1978



I SKANDINAVIEN ER VI HELDIGVIS NORMALT FORSKÅNET FOR STØRRE KATASTROFER, SOM HAR EN GEOLOGISK BAGGRUND - MEN I NOVEMBER 1977 FIK ET STØRRE JORDSKRED VED GÖTEBORG MEGET ULYKKELIGE FØLGER. BILLEDET HEROVER VISER HUSE OG ET VEJSKILT, SOM ER FLYTTET 150 METER FRA OPRINDELSSESSTEDET. HOVEDEMNET I DETTE NUMMER ER EN ANALYSE AF TUVE-SKREDETS FORLØB OG BAGGRUND.

DESUDEN VIL MAN FINDE EN ARTIKEL OM BLY- OG ZINKBRYDNINGEN I SORTE ENGEL MINEN - DEN ENESTE IGANGVÆRENDE MINE I GRØNLAND.

15. maj 1978.

+ 0,5 cm

Da Varv har fået friske nyheder om det store skred, der skete ved Tuve i november 1977 - må vi desværre lade Nordatlantens udvikling vente til nr. 3 - det kommer alligevel kun til at dreje sig om yderligere 0,5 cm's udvidelse.

VINDENERGI - GENBRUG

Carl Emil Andersen har udarbejdet en ny energipublikation:

- 1) Vindenergi litteratur, 2. udgave. Danmarks Tekniske Biblioteks publikation nr. 51 på 70 sider med cirka 800 titler på bøger, artikler og rapporter m.m. om alle aspekter af vindenergiens udnyttelse. Kr. 20 + moms.
- 2) Genbrug. Udnyttelse af affald. Danmarks Tekniske Bibliotek har udsendt en gratis oversigt på 13 sider med titler på publikationer om genbrug, genanvendelse og affaldsforbrænding.

Publikationerne kan fås ved henvendelse til Danmarks Tekniske Bibliotek litteratursalg, Anker Engelunds Vej 1, 2800 Lyngby. Tlf. (02) 88 30 88 lokal 4849.

VARV

Postadresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Museum, Øster Voldgade 5-7, 1350 København K. Tlf. 01 - 13 50 01.

Redaktion: Valdemar Poulsen (ansvarshavende), Mona Hansen, Erling Bondesen, Erik Stenestad.

VARV udkommer fire gange om året. Prisen er 36,00 kr i abonnement. Abonnement tegnes ved indsendelse af beløbet til VARV, postgiro 9 06 88 80.

VARV's plakater (10 kr), ekskursionsførere (Stevns-Fakse-Møn 21 kr, Røsnæs 21 kr, Bornholm 36 kr) og samlekasetter (til 6 årgange) 13 kr fås ved at indsende beløbet på postgiro 9 06 88 80.

Alle henvendelser vedrørende adresseforandring, fejl ved bladets levering, og lignende bedes rettet til postvæsenet.

© 1978 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kun efter tilladelse.

JORDEN FORSVANDT UNDER OS

af Åke Hillefors.

Gulvet begyndte at gynge og boghylden faldt på gulvet. Jorden rystede. Siden faldt huset sammen.

Således har nogle af dem, der oplevede lerskredet i Tuve den 30. november, beskrevet deres oplevelser.

Øjenvidneberetningerne fra Surte-skredet 1950 beskriver på samme dramatiske måde, hvorledes husene gyngede som skibe i ujævn sø og hvorledes en hæk passerede forbi køkkenvinduet.

Var disse lerskred ikke forbundet med den dybeste tragedie, med tab af kostbare ejendele og aller værst af kære slægtninge, venner og naboer, kunne en del af disse skildringer virke en smule komiske, hvilket beror på, at oplevelserne forekommer så uvirkelige. Lerskred er ret sjældne i Vestsverige og måske heller ikke så frygtede som i Norge, hvor der forekommer betydeligt stejlere dalskrænter af ler end i for eksempel Göta-elvdalen, Viskadalen og i Tuve. Efter skredet i Tuve har dog selvsagt stor ængstelse grebet om sig.

Endnu savner man fra Tuve en sammenstilling af øjenvidneskildringer og resultaterne fra de geotekniske-geologiske undersøgelser, som sikkert ikke afsluttes før end om flere måneder. Forstærkning af skredskrænterne blev påbegyndt allerede de første døgn efter katastrofen. Her kan derfor blot nævnes nogle foreløbige resultater og nogle almindelige erfaringer diskuteres.

Skredet indtraf altså den 30. november. Et el-kabel gennem midterdelen af skredområdet blev revet over kl. 16.04.30 ifølge registrering på Göteborgs elværk, et andet kabel indenfor de øverste dele af skredområdet blev klippet over kl. 16.09.00. Hele skredet udspillede sig altså på cirka 5 minutter. I disse minutter gled huse en strækning på over 150 meter på leret. Gennemsnitshastigheden midt i skredet var således knap 2 meter i sekundet - omtrent som langsomt spadseretempo.

Skredområdet på den østlige side af Kvillebäcksdalen på Hisingen, ligger omgivet af større og mindre "øer" af fast fjeld. Det faste fjeld består af gnejs, som netop indenfor skredet gennemskæres af en dybt nedforvitret øst-vest-gående diabasgang langs hvilken en dyb rende er eroderet ud i fjeldet.

Flybillederne i denne artikel er optaget af brandmand Rolf Alexandersson, Hönö og publiceres med tilladelse fra den Svenske Forsvarstab. Jordoptagelserne skyldes artiklens forfatter, hvis privatbolig ikke ligger langt fra skredområdet.



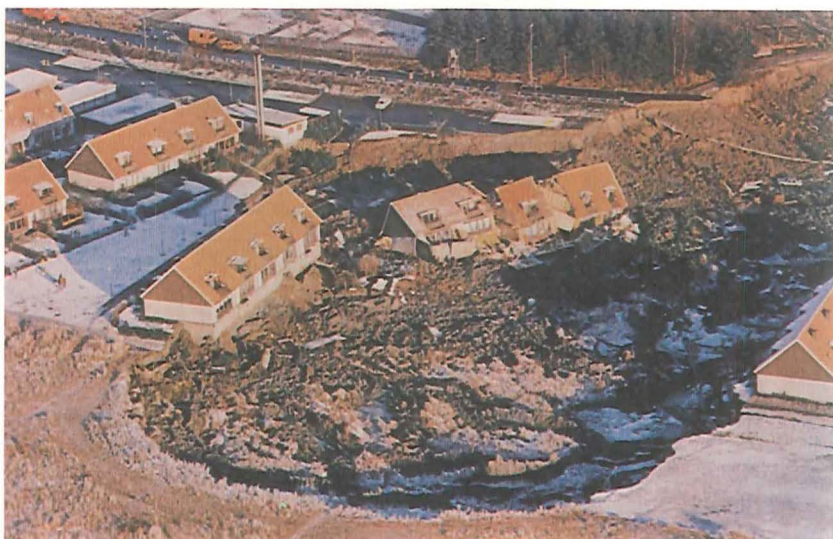
Skredet set fra vest mod øst. I venstre kant skimtes Snareberget og i nedre højre hjørne Tängenklacken med bebyggelsen nedenfor denne. Det antages, at skredet begyndte her og siden voksede bagud. Længst borte ses skredtungen i Kvillebäcksdalen.



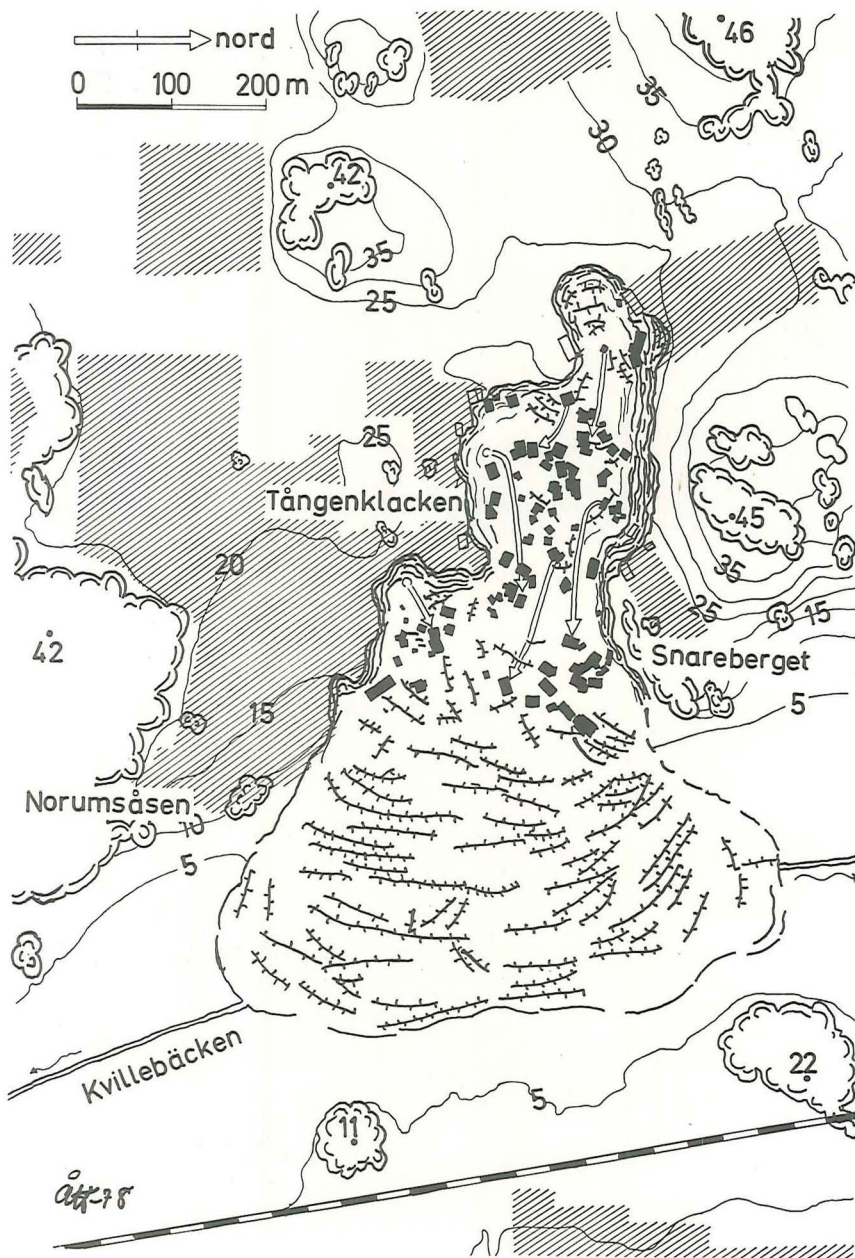
Nedskredne og delvis svært ødelagte huse nede i skredskålens bund. Snareberg-bebyggelsen ses i øverste højre hjørne.



Del af skredtungen omkring Kvillebäcken med oppressede og kippede lerflager. Bemærk de forsatte markskel.



Den vestligste og øverste del af skredskålen.



Jordarten består af blå marint ler, som afsattes på havbunden, efter at indlandsisen forlod området - således ud fra et geologisk synspunkt unge sedimenter, som med tiden forandres fysisk-kemisk. Lermægtigheden varierer mellem cirka 10 meter i de øverste og over 30 meter i de nederste dele af skredområdet. Under det blå marine ler ligger sand og grus i et lag, der mange steder ikke er mere end nogle decimeter mægtigt. På "øerne", der består af fast fjeld ligger moræneaflejringer, som kan overlægges af varvigt glacialt ler, der også kan underlægge det blå marine ler ind mod fjeldsiderne.

En mindre bæk havde skåret en cirka 4-5 meter dyb kløft gennem leret på sin vej ned mod den store lerslette, hvor Kvillebäcken løber. Kvillebäcken har selv gravet en rende, der ikke er særlig dyb, fordi lersletten, som den gennemstrømmer, kun ligger nogle få meter over havniveau. For blot cirka et årtusinde siden hævedes denne slette op over havet.

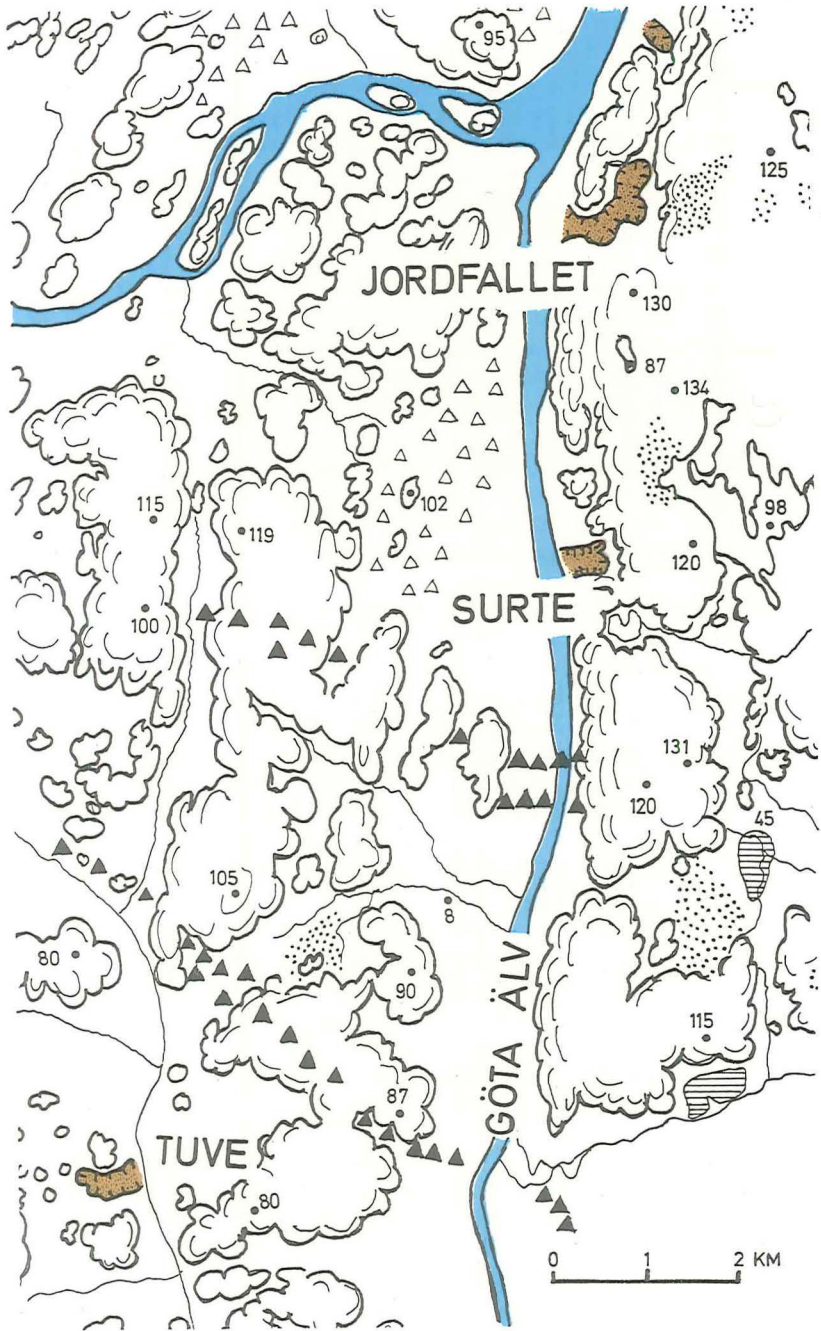
Endnu ved vi ikke sikkert, hvor skredet startede. Ud fra erfaringer kan vi dog slutte os til, at det indledtes med at en lermasse "løsnede sig", hvor skrænten var stejlest og bevægede sig nedad. Sandsynligvis indtraf dette netop der, hvor Snareberget og Tångenklacken danner en port, og hvor leret savner støtte nedefra og fra siderne af fjeldet. Siden er lerparti efter lerparti gledet nedad, indtil de udgledne lermasser lidt efter lidt har bremset op for glidebevægelserne.

Skredet danner nu en stor central skål med to senere dannede udglidningskanaler i den øverste del. Nederst er leret skubbet op på den gamle jordoverflade, som delvis blev revet med på grund af den vældige kraftpåvirkning, og leret blev foldet og sammenæltet. Skredet kan således opdeles i en aktiv, indsunket del, og en passivt oppresset del.

Tuve-skredet er bedømt til at være den største naturkatastrofe, som har ramt Sverige i moderne tid. Tabene opgøres til 9 menneskeliv og mellem 65 og 70 villaer og rækkehuse. De materielle tab beregnes til cirka 120 millioner svenske kroner.

Vestsverige har som sagt været ramt af sådanne naturkatastrofer tidligere. Surte-skredet i 1950 kostede 1 menneskeliv, ved Göta-skredet 1957 mistede 4 mennesker livet, og ved det store skred i Intagan 1648 omkom 85 mennesker. Skredet i Norge den 19. maj 1893 i Vaerdalen nord for Trondheim er imidlertid den måske største naturkatastrofe, som er indtruffet i Norden i moderne tid - 111 mennesker omkom og 22 gårde ødelagdes.

Tuve-skredet. Skredet synes at være startet i et område mellem Snareberget og Tångenklacken. De ødelagte huse er markeret med sort. Skråskravering angiver bebyggelse udenfor skredet. De punkterede linier markerer lerrygge. Indenfor skredskålens øverste del er jordoverfladen sunket 8-10 meter, mens skredtunge-delen er hævet 5-8 meter. "Glidebanerne" som bestemte huse har fulgt, er markeret med pile. Nord er mod højre.





Vue fra de øverste og vestligste dele af skredområdet set mod øst. Til venstre skimtes Snareberget, hvor leret delvis understøttedes af fjeldet. I horisonten den østlige side af Kvillebäcksdalen.

Hvad er da grunden til, at leret kommer i skred, og hvorfor sker det så pludseligt?

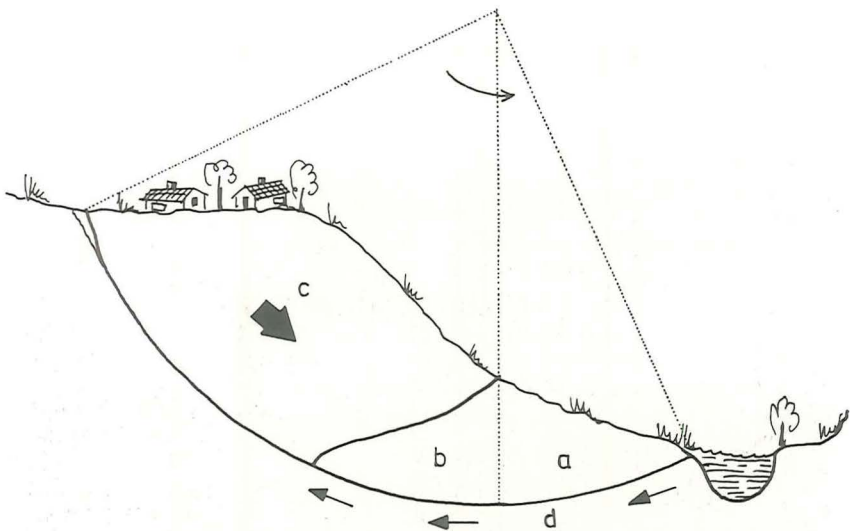
Årsagerne er dels langsomtvirkende processer i leret selv og i hele dalskrånningens udvikling, dels ydre fænomener, som udløser selve skredet.

Der kan skelnes mellem to principielt forskellige typer af lerskred: dybtgående lerskred (bloklerskred) og kviklerskred.

Ved de dybtgående lerskred bevæger leret sig i sammenhængende skredterrasser, den ene efter den anden. Leret har altså en vis stabilitet og sejhed, som det bibeholder trods det, at det masseres og æltes. Glidefladen ligger ofte på 15 meters dybde eller dybere.



Kort over den sydlige del af Götäelvdalen med de store skred ved Jordfallet (cirka år 1150) og Surte 1950. Tuve-skredet ligger på vestre side af Kvillebäcksdalen, en vestlig beliggende parallel til Götäelvdalen og ligesom denne uderoderet i en forkastnings- og forskydningszone i det faste fjeld. 1: fjeld i dagen, 2: iselvsmateriale, 3: endemoræne, 4: drumlin, 5: skred, 6: område i Lärjedalen (øst for Götäelv) med en lermægtighed, der overstiger 40 meter.



Skematisk snit gennem en lerskrænt. Cirkelbuen viser den glideflade, som normalt opstår ved et lerskred. Ved skredbevægelsen "roterer" lermasserne omkring cirkelns centrum. Massen a modvirker skredet, men denne kraft ophæves af massen b. Massen c presser dog på (fed pil) og denne kraft kan forøges ved for eksempel belastning i form af bebyggelse. Skredet indtræffer dog ikke førend gnidningsmodstanden og sammenhængskraften (pilene markeret med d) overskrides af den pressende kraft (c).

Kviklerskred udvikler sig på en helt anden måde. I naturlig, ikke omrørt tilstand er kvikleret ret fast. Men udsættes det for æltning eller vibrationer kan det blive flydende, ja det kan blive som en letflydende vælling - det er som geoteknikerne siger højsensitivt (= højfølsomt). Glibeoverfladerne for denne skredtype ligger sædvanligvis på 5-8 meters dybde. Kendetegnende for dem er at de kan omfatte store arealer - de spreder sig så let.

I Surte - ligesom i Vaerdalen (Norge) - drejede det sig om kviklerskred. Leret omdannedes her til en vælling på hvilken den tørre skorpe i løsevne flager flød ned ad dalskråningen. I Tuve er forholdene mere uklare, i hvert fald indtil analyseresultaterne fra de igangværende undersøgelser er udredet. Leret i skredskålen har stort set karakter af størrer og og mindre skredterrasser og flager med fast konsistens og åbenbart med normal styrke, i hvert fald ingen særskilt høj sensitivitet ("følsomhed"). Men der findes typisk nok en ganske høj sensitivitet (30-40) hos et cirka 10 m mægtigt lerlag under indtørringsskorpen mellem Snareberget og Tångenklacken, netop der, hvor man aner, at skredet begyndte.

Hvad er der da sket med leret, siden det er blevet så "kvikt", for ler, der blev aflejret i havet for geologisk kort tid siden, er ellers ikke "kvikt"? Vi må lægge vægt på dette spørgsmål, eftersom vi for øjeblikket ikke kan udelukke, at kvikler har været årsag til katastrofen eller bidraget til dens store omfang i Tuve.

Ler består af bladformede lerminerale, som er positivt elektrisk ladede langs bladkanterne og negativt på bladfladerne. Foruden lerminerale findes i sen- og postglaciale havaflejringer også bjergartsmel eller silt, det vil sige det fine mel, som gnejserne og graniterne er blevet omdannet til ved knusning i "indlandsisens kugleværn". Jo mere grovkornet materiale der findes i leret, og især hvis det ligger i lag, desto lettere kan vandet trænge ind og ud af leret. Disse forhold har, som vi skal se, stor betydning for visse omdannelsesforløb i leret og stabiliteten hos lersedimenter.

Gennem de elektriske ladninger er lerkornene sammenkoblede til hinanden og danner på denne måde et aggregat, som ganske enkelt kan sammenlignes med et korthus.

I mellemrummene, mellem kornene af ler og silt, findes vand - såkaldt porevand. Da leret blev afsat på havbunden, blev det salte havvand, indsluttet i porerne mellem kornene. Saltet kom derved til at indgå i leres indre struktur og bidrog til, at leret blev meget modstandsdygtigt overfor forskydninger eller belastninger.

Adskillige tusind år er imidlertid forløbet siden leret afsattes - i Tuve blev således de højst beliggende lerområder land for 9000-10.000 år siden, og det lavereliggende skredområde blev det et par årtusinder før Kristi fødsel. Ved landhævningen, der geologisk set forløb ret hurtigt, blev lersedimenterne hævet over havniveau og efterhånden dækket af plantevækst. Der hvor havet sendte vige længst ind i dalbundene løber nu bække og elve, for eksempel Götäelv, Viskan og i Tuve Kvillebäcken.

Det rindende vand i disse vandløb fjerner (eroderer) ler, silt og sand fra bunden. Det uddyber derved bækkene til kløfter med stejle vægge. I Lärjedalen er disse kløfter på sine steder 15-20 meter dybe. Ved denne proces, også i vor opfattelse langsomtvirkende, påvirkes stabiliteten hos lerskrænterne i negativ retning. Ved en vårflod eller ved kraftig efterårsregn kan en bæk grave sig ind under stejlbreen og forårsage, at skrænten skrider ned - måske en tilstrækkelig forstyrrelse til at sætte et kviklerskred i gang.

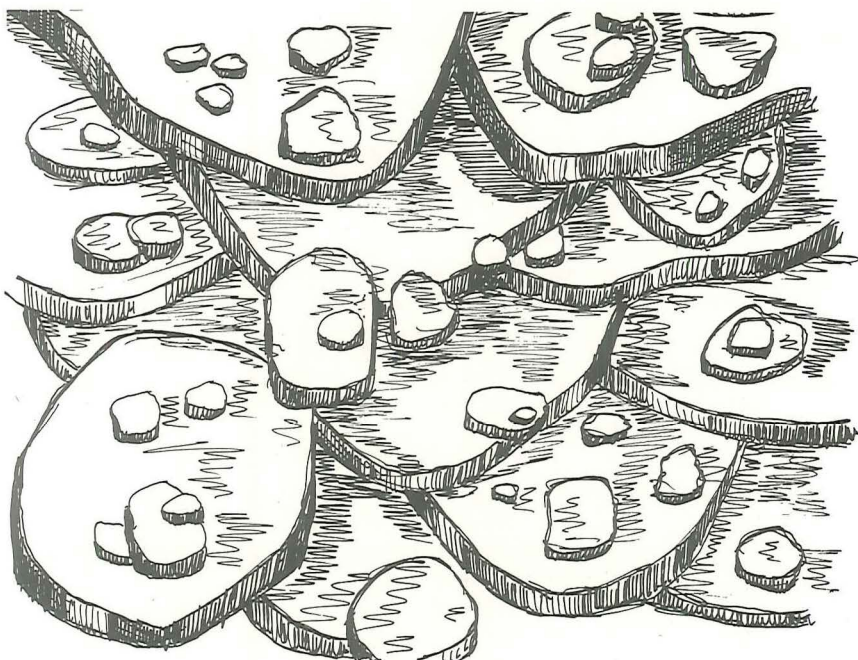
Da lersedimenterne blev land og blev dækket med vegetation udsattes overfladen for forvitningsprocesser og den hårde solide indtøringskorpe dannedes. Samtidig sivede regn- og smeltevand oppefra ned gennem de øverste lerlag. De dybere sedimentpakker blev efterhånden i højere og højere grad gennemstrømmet af grundvandet. Her har eventuelle mellem-liggende sand- og siltlag selvfølgelig spillet en stor rolle. Saltet i leret blev derved gradvist udvasket.

Udsættes således udvasket ler for stigende belastninger bryder dets indre struktur til sidst sammen som et korthus. Saltjoner, først og fremmest natrium-, kalium-, calcium-, magnesium-, klor- og sulfatjoner, skulle i kraft af deres elektriske ladninger egentlig kunne reetablere nye strukturer. Men i det udvaskede ler kom kornene ved forskydninger, som følge

af sætningen, gradvist til at vende deres negativt-ladede overflader mere og mere mod hinanden. Derved fremkommer frastødningskræfter mellem lerkornene, og leret mister praktisk talt al sin styrke. Det forvandles til kvikler, som ved et skred vil blive omrørt kraftigt og overgå til en vællingagtig substans, der kan løbe ned ad selv temmelig svagt-hældende skråninger. Leret kaldes kvik fra gammel tid i Sverige og Norge, fordi det opfører sig som om det lever (er levende), og kvik betyder netop på ældre nordisk sprog levende - jævnfør kviksølv.

Selvfølgelig kan en lerskråning blive så stejl på grund af længere varende floderosion, at lerets indre sammenhængskraft ikke længere kan modstå den tyngdebetingede belastning af skrånningen. Da indtræffer der et skred.

Udvaskningen som følge af grundvandsgennemstrømning og bækerosion er sket trin for trin. Lerskråninger kan, indtil et vist kritisk tidspunkt nås, modstå ydre forstyrrelser. Til sidst udløses der imidlertid et skred. Ydre forstyrrelser kan komme i form af en lille ekstra belastning på leret



Omrørt kvikler. Den oprindelige indre kornstruktur er helt brudt i stykker, og kornene vender de negativt ladede pladesider mod hinanden, så de frastøder hinanden. En sådan lertype har overhovedet ikke nogen styrke, den opfører sig som en tyndflydende vælling.



De sidst udgledne skredterrasser mod vest. Hajfjinnelignende skarpe lerrygge er presset op mellem de enkelte lerblokke.



Indenfor de østlige nederste dele af skredområdet presses lermasserne op og dannede en skredtunge. Her blev leret delt op i flager, der vippedes og som nu danner bueformede rygge.

som følge af for eksempel en brændeopstabling. Kvikler er også særlig følsom over for rystelser, for eksempel fra tung trafik. Sandsynligvis udløstes Surte-skredet således, dels af vibrationer som følge af jordarbejder i dagene op til skredet, og dels af rystelserne fra et tog der passerede området umiddelbart før skredet satte i gang. Passagererne i sidste vogn fortalte, at de så, hvorledes leret begyndte at glide.

I nogle tilfælde kan store regnmængder (i efteråret 1977 var nedbøren tre gange det normale) hæve porevandstrykket i leret, så de sammenholdende kræfter i dette formindskes. Ved skredet i Surte rapporteres leret at have stået under så højt grundvandstryk, at en mindre artesiske fontæne sprøjtede ud af et borehul i den øvre del af skrænten dagene inden katastrofen indtraf.

Efter skredet i Tuve har man også målt meget høje porevandstryk nede i skredmasserne i den del af katastrofeområdet, hvor initialskredet antages at være opstået. Ja, porevandstrykket var så højt, at leret ganske enkelt kan være blevet løftet løs fra dets sand- og gnejsunderlag og bogstavelig talt være flydt ovenpå grundvandsstrømmene.

Dagene efter skredet besøgte jeg området i Tuve og talte med flere villaejere, som forsøgte at redde nogle ejendele fra deres ødelagte ejendomme. En af dem fortalte, at de havde mærket kloaklugt i kælderen en tid før naturkatastrofen indtraf. Dette aktualiserer spørgsmålet, om kloakvand fra utætte ledninger kan være sivet ud i leret. Området blev først bebygget for en halv snes år siden og dengang lagde man kloakledningerne nede i leret. Ved deformationer i jorden - som set fra vort synspunkt er langsomme og derfor udgør et umærkeligt forspil til skredet - kan disse ledninger være begyndt at lække. Man har gjort gældende, at Göta-skredet i Götaelvdalen og skredet ved Norselven i det sydvestlige Värmland 1969 var forårsaget af, at kloakvand var sivet ud i leret og havde gjort dette ustabil. I den henseende har laboratorieanalyser vist, at fosfater, som findes rigeligt i afløbsvand, og visse aminosyrer, som findes i humusrigt vand, kan formindske lerets styrke i løbet af kort tid, måske nogle år.

Man kan under sig over grunden til, at ofrene blev så mange som 9 i Tuve og kun 1 i Surte. Det kan hænge sammen med huskonstruktionerne. I Surte ramte det en mindre bebyggelse med træhuse af høvlede brædder, mens villærne i Tuve havde vægge af betonelementer eller enkle trækonstruktioner og etageadskillelser af beton. Træhusene i Surte blev stillet på kant og væltede i nogle tilfælde. Et langt hus gik itu, men ellers hang husene sammen. Villærne af "sten" i Tuve blev derimod i de fleste tilfælde helt ødelagt. Fugerne mellem væggene og etageadskillelserne blev trukket i stykker ved de voldsomme forskydninger. Flere af ofrene dræbtes derfor af nedstyrtende betonlofter.

Redningsarbejdet i Tuve var også overordentligt svært. Mens Surte-skredet indtraf kl. 8.09 om morgenen, faldt vintermørket på netop som skredet i Tuve var sket. Ingen kunne derfor rigtig få nogen fornemmelse

af katastrofens omfang før end om morgenen - cirka 14 timer senere. Redningsmandskabet måtte om natten gå ud i skredområdet og med lommelamper lede efter indespærrede og nødstedte.

I en del tilfælde var husene i Tuve blevet så ødelagte, at det næsten var umuligt at lokalisere stueetagerne, hvor mennesker kunne tænkes at have opholdt sig. Endvidere var det svært at finde ud af, hvad det var for et hus, man stod overfor, for mange var jo gledet op til 150 meter - og hvilke og hvor mange personer, der savnedes.

Kan sådanne naturkatastrofer forebygges ?

Geoteknikerne har udviklet metoder til at måle lerets styrke og beregne skrænters stabilitet. Mange områder i Vestsverige har da også siden Surte-skredet været under overvågning. Men betegnende er, at et nyt skred indtraf helt uventet ved Bärfendal i det nordlige Bohuslen nogle uger efter Tuve-skredet. Her drejer det sig åbenbart om et kviklerskred, dog af temmelig ringe omfang. Yderligere områder er derfor nu sat under speciel observation. Kommunerne har fået et nyt problem at kæmpe med - er jordbunden til at stole på ?

Hvor leret findes i stejle skrænter, som savner støtte af fjeld, hvor vandet kan sive ned i, og ned under leret fra højereliggende områder, og hvor elve og bække nedenfor sådanne skrænter uddyber deres lejer, der kan man frygte lerskred. Her må man forhindre, at de kræfter, der virker på skråningerne forøges og overskrider lerets friktions- og sammenhængskræfter. De øverste skræntpartier bør graves bort og støttestrukturkonstruktioner bør bygges op ved foden af skrænten. Er en lerskrænt i risikozonen, må man også forhindre, at den udsættes for rystelser fra for eksempel tung trafik. Endvidere kan man stenbeklæde elvbrinkene eller føre bækkene i rør for at standse den erosion, der vil kunne forårsage initialskred. For at mindske porevandstrykket kan leret dræneres.

Er leret kvikt, kan det få sin styrke igen ved at kalkstænger presses ned i det. Derved dræneres leret, og kalkjoner kan sive med vandet ned i det og stabilisere kornaggregaterne, som havvandets salt engang gjorde det. I Norge har man forsøgsvis injiceret saltopløsninger (KCl) for at erstatte det bortvaskede havsalt og resultaterne blev gode. Men metoden er kostbar og måske ikke den mest enkle og effektive.

Selv om vi - ikke mindst gennem norsk lerforskning - har lært meget om det marine lers geoteknik og geologi, er vore kundskaber dog endnu ikke tilstrækkelige til helt at forebygge lerskred. Vore ressourcer til undersøgelser er også utilstrækkelige. Under disse forhold må indsatsen i første omgang koncentreres om, at de kraftigt trafikerede og tætbebyggede lerfyldte dale i Vestsverige bliver kortlagt og undersøgt af både geologer og geoteknikere.

Selv om vi ikke i fremtiden helt vil kunne forhindre, at nye skredkatastrofer indtræffer, vil vi dog kunne mindske risikoen, for at de vil indtræffe og derved også begrænse tabet af menneskeliv og ejendom.



Glidespor i leret på skredskråningen. Øst for Tången.



Leret er ved bevægelserne delt op i store brokker. De øverste lag udgøres derfor ikke af kvikler, men dette kan alligevel have forekommet på større dybde.



Vue over den mellemlste del af skredområdet, fra syd mod nord. Længst borte ses Kyrkberget. Til højre for dette (mod øst) ligger Snareberget.



Nødstedte har reddet sig ud fra 2. etage i dette hus ved at fire sig ned på jorden ved hjælp af sammenbundne lagner, som endnu hænger ud af vinduet.

TIL ALLE GRØNLANDSVENNER

"Kornerups Grønland": 137 sider, format 34 x 23 cm, talrige farveillustrationer. Pris: 234 kr.

Årets gave til alle Grønlandsvener i ind- og udland foreligger allerede nu i form af bogen "Kornerups Grønland", udgivet af Kommissionen for de Videnskabelige undersøgelser i Grønland - i anledning af kommissionens 100 års jubilæum. Teksten er sat i en smuk trespaltes opsætning på dansk, grønlandsk og engelsk.

Cand. polyt. Anders Kornerup berejste Grønland i årene 1876-1879 som deltager i ekspeditioner, udsendt af forløberer for den videnskabelige kommission, der endelig etableredes i januar 1878. Kornerup besøgte Julianehåbsområdet, egnene omkring Godthåb og Frederikshåb og mellem Holsteinsborg og Egedesminde. Han døde i 1881 kun 24 år gammel af lungebetændelse, som han pådrog sig under den sidste rejse i 1879.

Kornerup deltog i ekspeditionerne som naturvidenskabsmand og tegner - især var han beskæftiget med geologiske emner.

Forfatteren Thorkild Hansen skildrer i en omfattende indledning ekspeditionernes forløb og deres baggrund. Indledningens atmosfære sætter læseren i den rette stemning til bogens hovedafsnit - et udvalg af Kornerups breve og billeder.

De mange akvareller, hvoraf 22 er helsides illustrationer, er pragtfuldt gengivet. Det klare lys i Grønland harmonerer meget smukt netop med akvarelteknikken - af formatmæssige og trykkes tekniske grunde er det desværre ikke muligt her at gengive disse billeder.

Hvis man ellers kan nænne det, vil det være fristende at "slagte" bogen for at ramme de enkelte akvareller ind - det vil, kvaliteten taget i betragtning, være billige billeder til væggene. Der findes dog også den udvej at købe to eksemplarer af bogen.

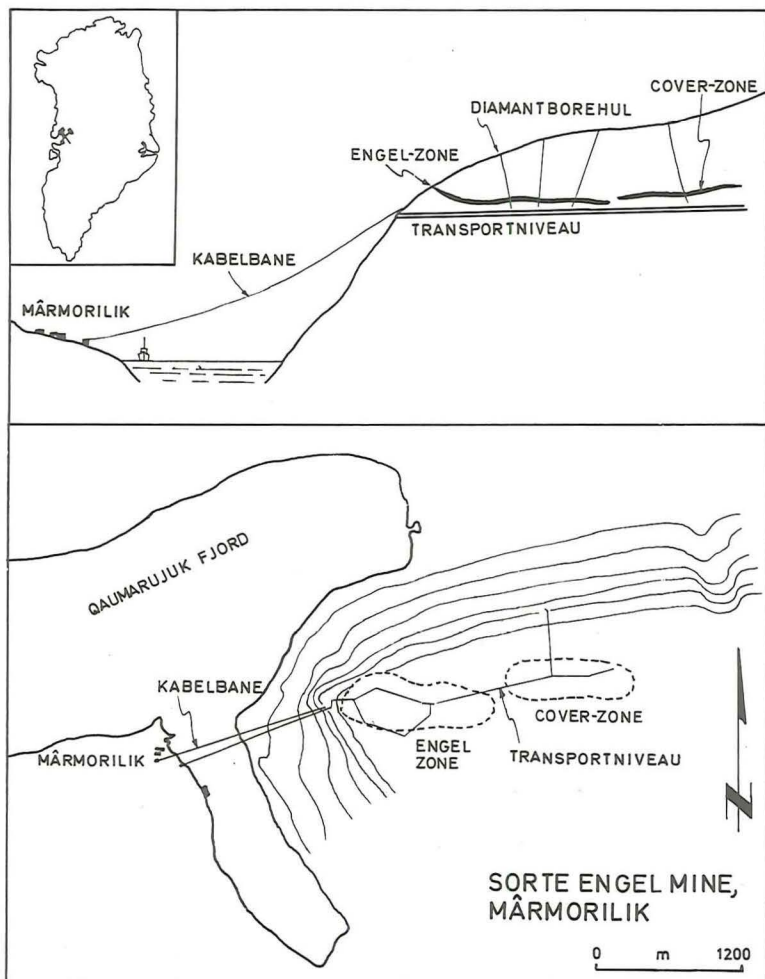
Den resterende tekst i bogen giver en biografi over Kornerup, en bibliografi, samt en oversigt over den videnskabelige kommissions historie.

Allerede for næsten 100 år siden var der et udtalt ønske om at publicere Kornerups akvareller i et værdigt udstyr - nu er de tilgængelige for alle interesserede. Bogens pris - 234 kr. - må være yderst rimelig under hensyntagen til trykke- og papirkvalitet - og da især farvereproduktionerne. Mon ikke boghandlerne hurtigt kan melde udsolgt?

SORTE ENGEL

af Frank D. Pedersen og Kurt Christensen.

Grønlands eneste igangværende mine, bly- og zinkminen "Den Sorte Engel" ved Marmorilik, ligger på vestkysten på 78° 8' nordlig bredde, cirka 600 km nord for polarcirklen. Fra lufthavnen i Søndre Strømfjord tager det med helikopter godt tre timer at flyve de cirka 560 km til Marmorilik.



Figur 1. Kort over mineområdet ved Marmorilik. Φ verst ses et lodret snit gennem Sorte Engel Fjeldet. (reproduceret fra Can.Min.Jour. aug. 1972).

Bjergarterne i Marmorilik området er beskrevet i en tidligere artikel (Varv 1, 1976). Her skal vi se nærmere på selve bly-zink minen, dens geologi og den brydningsteknik der anvendes under udvindingen af malmen.

MINENS HISTORIE

Sorte Engel fjeldet, der fra havniveau rejser sig næsten lodret til en højde af godt 1100 meter, ligger overfor det tidligere marmorbrud ved Marmorilik i Umanak distrikt (se figur 1). På den øverste halvdel af en af klippevæggene ses den mørke, englelignende aftegnning der har givet fjeldet navn, og som har tjent som kendingsmærke for den grønlandske fangerbefolkning gennem generationer (se figur 2).



Figur 2. Den Sorte Engel set fra Marmorilik. Malmen er den rustne stribe der ses over selve Englen. De fire huller i fjeldet til venstre for Englen er kabelbaneterminalerne.

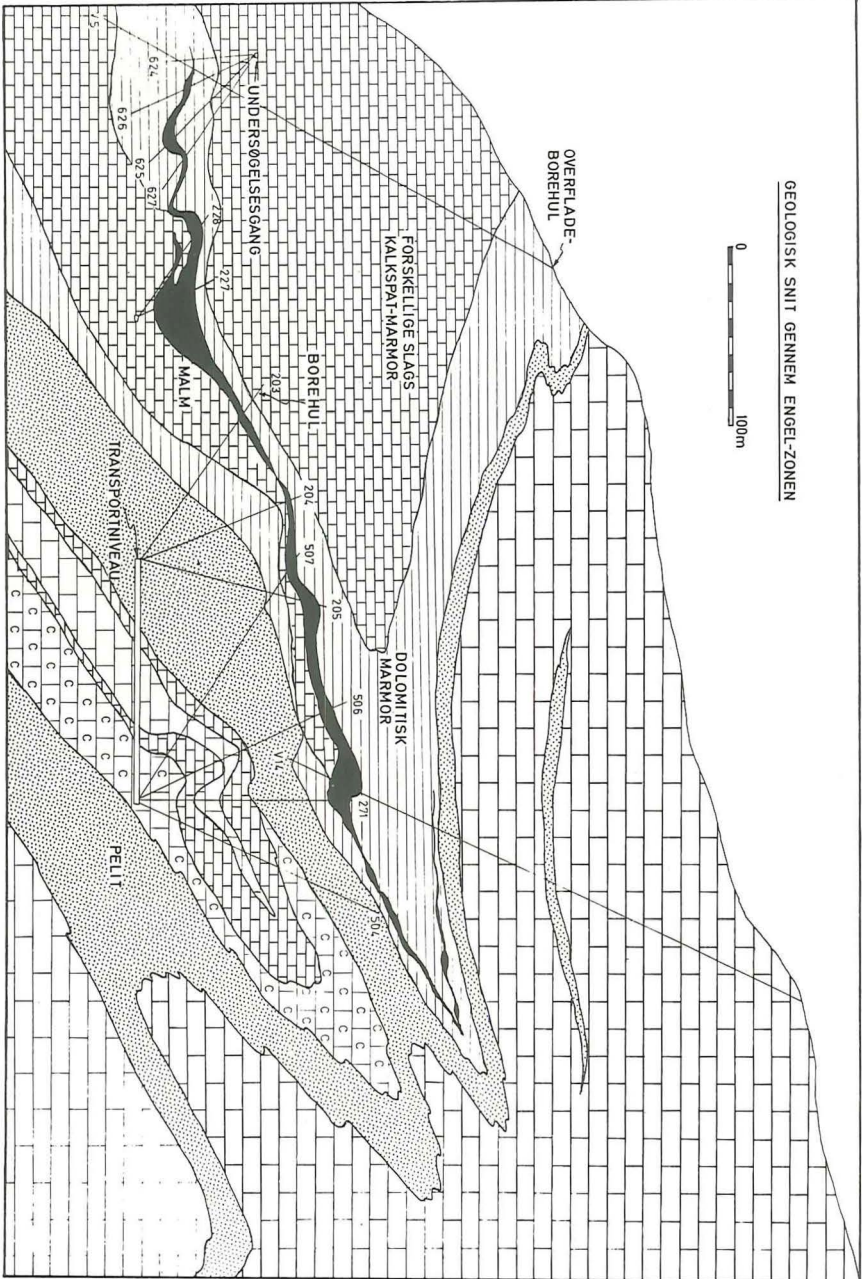
De første antydninger af en malmforekomst i fjeldet fik man, da en grønlandser i 1938 fandt mineraliserede løsblokke i raskeglerne under Den Sorte Engel. Dette fund blev fulgt op af videnskabelige undersøgelser i 1939, og konklusionen blev, at malmblokkene var meget rige på bly, zink og jern, og at de sandsynligvis stammede fra den mørke aftegning, der danner Den Sorte Engel. På grund af det høje metalindhold i blokkene og det betragtelige areal, som Englen repræsenterer, foretog man yderligere undersøgelser i 1947 og 1949. Herved blev det konstateret, at malmblokkene ikke kunne stamme fra selve Englen, men at de måtte stamme fra en tynd rusthorisont over denne. Dette medførte at der i en årrække ikke blev foretaget yderligere i området, da rusthorisonten lå utilgængeligt og blev bedømt til at være for lille efter datidens forhold.

Først i 1962 tog udviklingen fart med udstedelsen af en efterforskningskoncession til to canadiske mineralefterforskere. Sammen med blandt andet det canadiske mineselskab Cominco Ltd. dannede de i 1963 et selskab, der i to omre ved hjælp af bjergbestigere undersøgte malmlagene på fjeldsiden. Resultaterne var så lovende, at det førte til oprettelse af firmaet Greenex A/S, der i 1965 fik udstedt en efterforskningskoncession på Marmorilik området. I 1966 og 1967 blev undersøgelserne udvidet til også at omfatte diamantboringer fra fjeldets top ned gennem de malmførende lag, og disse boringer førte til opdagelsen af to malmlegemer der lå tæt på hinanden i en højde af cirka 600 meter over havet. Det vestligste malmlegeme, hvorfra de omtalte løsblokke ved fjeldets fod stammede, blev døbt "Engel-zonen", og det østligste "Cover-zonen" (den overdækkede zone), fordi den ikke er blottet på fjeldvæggen.

Den malmtonnage, der kunne beregnes på grundlag af overfladeboringerne, var af en sådan størrelse, at en direkte undersøgelse af malmlegemerne inde i fjeldet var påkrævet. Dette skete i 1971, efter at Greenex A/S havde fået udnyttelseskoncession på området, og det første "angrebspunkt" blev valgt på fjeldsiden umiddelbart under Engel-zonen. Svejtiske bjergbestigere blev sænket ned fra fjeldets top med reb, og i 700 meters højde byggede de en træplatform, der skulle tjene som helikopterlandingsplads. Fra denne blev udstyr hejset ned til det sted, hvor man havde valgt at starte de første minegange, og i løbet af 1971 og 1972 blev disse fuldført af canadiske minearbejdere, samtidig med at den første kabelbane blev etableret mellem minen og Marmorilik. En prøvebrydning af malmen var så positiv, at man i 1972 påbegyndte bygningen af det egentlige bjergværk, herunder endnu en kabelbane til malmtransport, og allerede i 1973 startede produktionen fra Engel-zonen. Brydning fra Cover-zonen begyndte i 1977, og i dag er Den Sorte Engel en af Europas største enkeltleverandører af bly- og zink-koncentrater.

Figur 3. Typisk lodret snit gennem Engel-zonen. Det ses at diamantborehullerne er boret i vifter op gennem malmen fra transportniveauet. Yderst til venstre en undersøgelsesgang der er drevet op over malmen.

GEOLOGISK SNIT GJENNEM ENGEL-ZONEN





Figur 4. Hvid og båndet kalkspat-marmor som den ses i minegangene under Engel-zonen.

MINENS BJERGARTER

Malmlegemerne i Den Sorte Engel findes i de øverste dele af Marmorilik-formationen, en foldet og metamorfoaseret Prækambrisk lagfølge af kalksten (se Varv 1, 1976).

De bjergarter man finder i minen er derfor hovedsagelig marmor, men flere steder skærer minegangene igennem de pelitiske (omdannede, oprindelige lerholdige siltbjergarter) bjergarter, der danner aftegningen af Den Sorte Engel på fjeldvæggen. Endelig er der de massive malmlag, der er en bjergart i sig selv, og som danner grundlaget for minedriften (se figur 3).

Marmorbjergarterne kan opdeles i to hovedtyper efter mineral-sammensætning. Kalkspat (CaCO_3) marmor findes i størst mængde mod nord og vest i minen og er her værtsbjergart for malmen (se figur 4). Marmoren er hvid og massiv og svarer nøje til den type, der i sin tid blev solgt fra marmorbruddet i Marmorilik. Foruden kalkspat indeholder den små mæng-



Figur 5. Skarp kontakt mellem malmen (øverst) og lysegrå, finkornet marmor. Øverst i malmen ses en kraftig bånding udviklet, her og der ses afrundede indslutninger af marmor og flint.

der kvarts, glimmer og feldspat, og flere steder findes desuden op til 50 meter tykke lag af anhydrit (CaSO_4) og gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Den anden hovedtype er præget af magnesium og består overvejende af dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), og den er værtsbjergart for malmen i den sydlige og østlige del af minen. Marmoren er grå, finkornet og båndet og danner en overgangsbjergart til de pelitiske lag, der er en sort, meget finkornet bjergart. Mineralogisk består pelitten af kvarts, feldspat, glimmer, grafit og små mængder svovlkis, og dette mineralselskab viser, at den oprindelige bjergart har været en leret siltsten med en del kulholdigt materiale, der kan have været af organisk oprindelse.

Malmlagene består næsten udelukkende af metal-svovl forbindelser, såkaldte sulfider, og de eneste "urenheder" er små linser af flint og marmor, der udgør mindre end 10 % af malmhorisonterne (se figur 5). På trods af foldningen og metamorfosen, der har påvirket malmhorisonterne, kan man mange steder i minen se, at de oprindeligt har dannet lag, der sandsynligvis er afsat samtidigt med den sedimentære kalksten.

Man må derfor forestille sig, at det geologiske miljø, der har hersket på malmenes dannelses-tidspunkt, var en forholdsvis lavvandet havbugt i et område med varmt og tørt klima. Det omgivende landområde har været stærkt nederoderet, og på et senere tidspunkt er havbugten blevet isoleret fra havet, en inddampning har kunnet finde sted, og anhydrit og gips er udfældet sammen med kalkstenen. På samme tidspunkt er dannelsen af sulfiderne sket, og flere ting tyder på, at bakterier spillede en vigtig rolle i udfældningen. Adam Garde har i sin artikel i Varv 1, 1976 givet en gennemgang af denne proces.

MALMENE

Som nævnt kendes i dag to malmlegemer i Sorte Engel fjeldet. De har begge en udstrækning på cirka 400 meter x 1200 meter og tykkelsen er de fleste steder mellem 1 meter og 5 meter – men med store lokale variationer. Tykkelsesvariationerne skyldes den foldning, områdets bjergarter har været udsat for. Det østlige malmlegeme, Cover-zonen, er det simpleste, det har form af et fladtliggende skålformet lag, der ud over hyppige tykkelsesvariationer ikke viser væsentlige tegn på deformation. Det vestlige malmlegeme, Engel-zonen, er derimod kraftigt foldet i den nordlige del, hvilket har resulteret i at det her er meget uregelmæssigt (se figur 3). Tykkelsen varierer fra nogle få meter til godt 35 meter over ganske korte afstande, og i form minder det på mange måder om aftegningen af Den Sorte Engel på fjeldets overflade. Dette er sikkert ikke nogen tilfældighed, da de to bjergartstyper, pelit og sulfider, kan forventes at opføre sig nogenlunde ens under en foldning.

Alt i alt er malmen i det nordlige område forholdsvis fladtliggende, hvilket har stor betydning for den brydningsmetode, der kan anvendes. I de sydlige dele ligner Engel-zonen den mindre komplekse Cover-zone, når der ses bort fra et stejlt parti omtrent midt i malmen (se figur 3). Her er malmlegemet flere steder blevet strakt så meget, at tykkelser helt ned til 10 centimeter er almindelige.

Indholdet af bly og zink i den massive sulfidmalm fra Sorte Engel udgør tilsammen cirka 25 %, og malmen hører således til blandt de rigeste i verden af sin art. I tabel I er vist sammensætningen af den såkaldte malmreserve, det vil sige den del af malmen, der er brydeværdig. Der er i beregningen taget hensyn til, at man under brydningen tager lidt af den omgivende marmor med, hvilket naturligvis sænker metalprocenterne, således at summen af bly- og zinkindholdet bliver under de omtalte 25 %. De dele af malmen der ikke er med i malmreserven er enten for tynde eller indeholder for lave metalprocenter.

Malme af Sorte Engel typen har sædvanligvis en forholdsvis simpel mineralogi, og tabel II viser de mineraler, der indtil nu er identificeret – flere følger nok senere, men af tabellen fremgår det, at langt størstedelen kun optræder i meget små mængder, og at hovedmineralerne er svovlkis, zinkblende og blyglans.

Antal tons	bly	zink	jern	sølv	kobber	cadmium	guld	svovl
4.540.000	4,8%	14,1%	15,5%	26ppm	0,03%	0,085%	spor	24,2%

Tabel I. Sammensætningen af malmreserven for 1976, ppm angiver "parts per million" eller gram pr. ton.

Hovedminerale:	Sporadisk forekommende minerale.
svovlkis (FeS_2)	kobberkis (CuFeS_2)
zinkblende (ZnS)	stannit ($\text{Cu}_2\text{SnFeS}_4$)
blyglans (PbS)	tennantit-tetrahedrit ($\text{Cu}_3\text{AsS}_3.25\text{-Cu}_3\text{SbS}_3.25$)
	polybasit ($(\text{Ag}, \text{Cu})_{16}(\text{As}, \text{Sb})_2\text{S}_{11}$)
	arsenkis (FeAsS)
	markasit (FeS_2)
	magnetkis (Fe_{1-x}S)
Tabel II	machinawit (FeS)
	rutil (TiO_2)
	grafit (C)

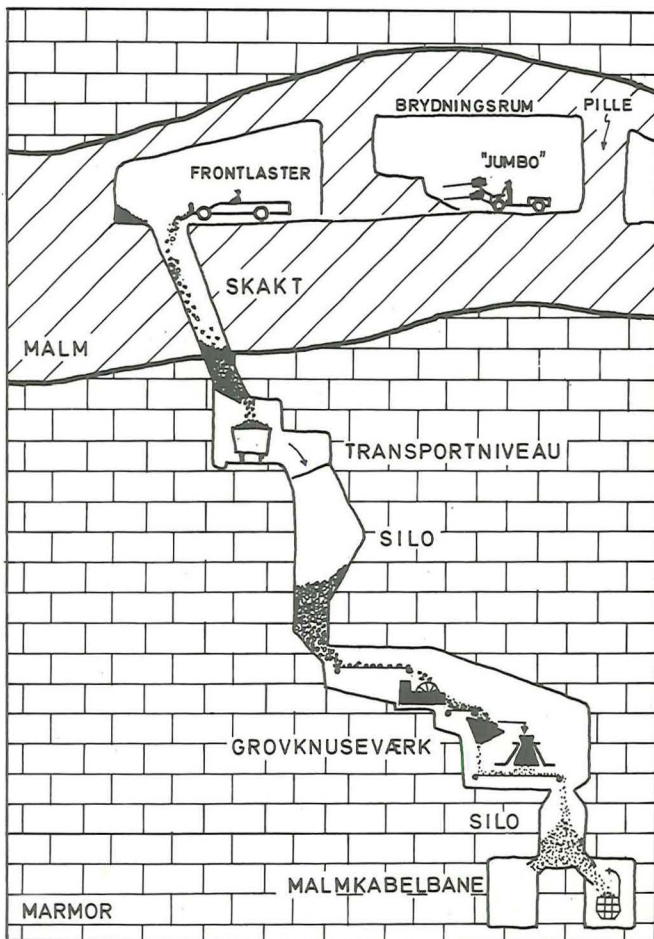
BRYDNINGSTEKNIK

De første undersøgelsesgange, der blev påbegyndt af de svejtsiske bjergbestigere fra fjeldvæggen, var alle vandrette og ligger i en højde af 600 meter over havet. Dette niveau i minen er senere blevet udvidet med et stort antal sporlagte minegange og tjener nu som transportniveau (se figur 6). Selve malmlegemet (Engel-zonen) ligger 25 til 150 meter over transportniveauet, og man kommer op til malmen via gange, der snor sig op gennem fjeldet i spiraler.

Før selve brydningen af malmen kunne påbegyndes i 1973, måtte man indhente detaljerede oplysninger om malmlegemets form og beliggenhed. Dette blev gjort ved hjælp af diamantboringer op gennem malmen fra det senere transportniveau. I første omgang borede man et antal huller i vifter med 100 meters mellemrum på tværs af malmlegemets formodede retning, og mellem disse vifter borede man senere sektioner med 50 og 25 meters mellemrum.

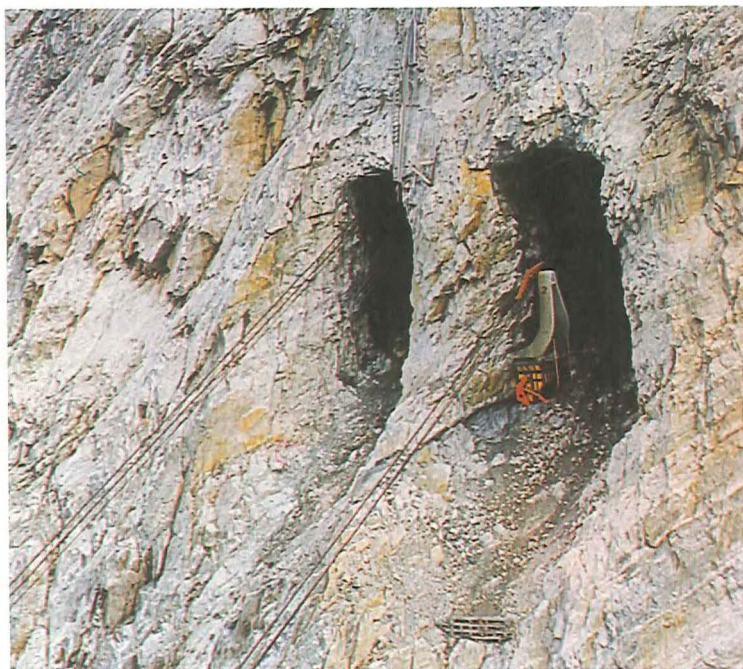
Boringerne gav de forventede oplysninger om malmens struktur og danner grundlaget for en opdeling af malmlegemet i mindre blokke, beregning af malmreserverne og planlægningen af brydningen.

Brydningen af malmen foregår efter et system der på engelsk kaldes "open stopes and pillars". Det er baseret på en opdeling af malmlegemet i rektangulære brydningsrum ("stopes") og under brydningen fjerner man gradvist malmen i disse og efterlader piller mellem rummene til understøttelse af taget. Det areal pillerne dækker, udgør cirka 15 % af hele malmens areal.



Figur 6. Brydningsmetodikken ved mekaniseret brydning (øverst). Den nederste del af figuren viser de processer malmen skal igennem før den føres med malmkabelbanen til videre forarbejdning i Marmorilik.

Den brudte malm fyldes i skakter, der går ned til transportniveauet, hvor den tappes over i tipvognet (se figur 6). Disse kører malmen videre til en stor silo, der er sprængt ud i klippen under transportniveauet, og ved bunden af denne ligger grovknuseværket i en højde af 550 meter over havet. Her knuses malmen ned, så de største klumper er under 5 centimeter i diameter, og den føres videre til malmkabelbanen, der transporterer den over fjorden til Marmorilik. Den sidste forarbejdning foregår i minebyen, hvor malmen separeres ved en kemisk proces i et bly- og et zinkkoncentrat, der i sommermånederne sejles med tankskibe til smelterierne i i Europa (se figur 7).



Figur 7. Malnkabelbane-terminalerne på fjeldvæggen under Englen. De to huller er godt 35 meter høje og 15 meter brede. Til højre er en kabelvogn netop på vej ned med en ladning grovkornet malm.



Massiv pyrit-zinkblende malm fra den nederste del af Engel-zonen. I billedet ses en grovkornet marmorindeslutning.

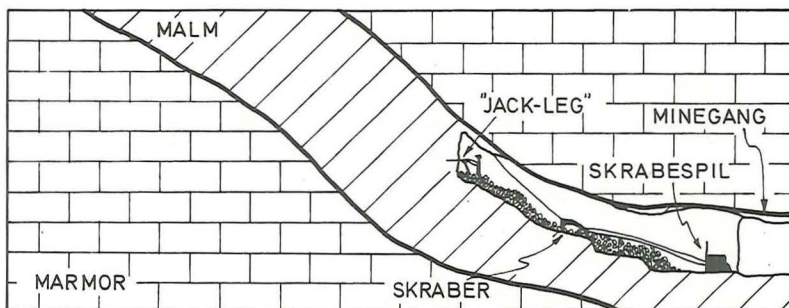
"JUMBO OG JACK-LEGS"

Malmlegemernes komplekse struktur medfører, at man må operere med både håndboremaskiner ("jack-legs") og selvkørende, hydrauliske boremaskiner ("jumbo's") under brydningen. Ved begge metoder drives først en minegang langs malmens øvre kontakt parallelt med strygningsretningen, og fra denne gang udgår brydningsrummene.

I de fladtliggende områder af malmen anvendes den mekaniserede brydningsmetode. Malmen bores op med jumbo (se figur 6) og efter sprængningen køres den til en malmskakt med frontlaster ("scoop-tram"). Som sprængstof anvendes en kunstgødning (ammoniumnitrat) blandet med dieselolie, og antændelsen sker ved hjælp af en detonator. En forudsætning for, at mekaniseret brydning kan finde sted er, at gulvet i brydningsrummet hælder mindre end cirka 10° , idet frontlasteren ellers ikke kan fylde skovlen. Brydningsrummene er normal 16 meter brede og op til 100 meter lange, langs begge sider efterlades piller på 7×7 meter med mellemrum på cirka 10 meter.

Hælder malmen mere end 10° anvendes i stedet håndboremaskine under brydningen. Man starter nederst i brydningsrummene, der er lagt vinkelret på malmens strygningsretning, og arbejder sig op i disse langs malmens øvre kontakt. Den løssprængte malm skræbes ned med en skovl, drevet af et elektrisk spil (se figur 8), og den videre transport foregår normalt med frontlaster. Brydningsrummene er ved denne metode også 16 meter brede og op til 80 meter lange, men pillerne mellem rummene er 4 meter tykke i hele rummets længde grundet den større belastning, de er udsat for.

Da produktiviteten ved den mekaniserede brydningsmetode er langt større end ved brydning med håndboremaskine, forsøger man naturligt nok at anvende de hydrauliske boremaskiner, hvor det er muligt. Det er grun-



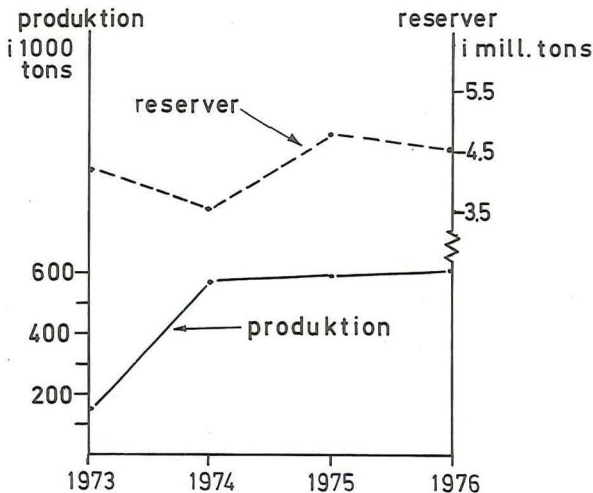
Figur 8. Brydningsmetodikken ved skræbespil-brydning. Skræbeskovlen er hængt op i stålwirer og kan føres op og ned i brydningsrummet ved hjælp af det elektriske spil nederst. Malmen transporteres videre ad minegangen til højre med frontlaster.

den til, at man i den senere tid er begyndt at anvende en ny brydningsmetode, hvor man i stejltstående malmpartier arbejder mekaniseret i brydningsrum, der er lagt parallelt med malmens strygning. De foreløbige resultater er meget opmuntrende, og det forudses at denne metode snart vil gøre skræbepilsbrydningen næsten overflødig.

MINENS LEVETID

Samtidig med at den egentlige malmproduktion finder sted, foregår der en udbygning af minen, så nye områder af malmen hele tiden gøres klar til produktion. Det sker ved, at man driver nye minegange ind i malmens yderområder på en måde, så de kommende brydningsrum kan blive så vandrette som muligt. I øjeblikket laves der cirka 200 meter nye gange om måneden, hvilket er tilstrækkeligt til at holde trit med produktionen.

For at forøge malmreserverne i minen foretages der til stadighed efterforskning udenfor den kendte del af malmlegemerne. Dette gøres ved diamantboringer, dels fra minegange, der drives ud under nye områder af malmen, dels fra Sorte Engel fjeldets overflade. I 1977 blev der således ialt diamantboret cirka 30.000 meter og drevet 1000 meter undersøgelsesgange. Efterforskningerne skulle gerne give som resultat, at man hvert år finder lige så meget ny malm, som der brydes - hvilket svarer til 600.000 tons, og som figur 9 viser, er dette mål hidtil blevet nået.



Figur 9. Malmproduktionen og udviklingen i minens malmreserver siden starten af brydningen i 1973. Som det fremgår er der på trods af produktionen sket en mindre øgning i minens reserver frem til 1976.



Udsigten over Marmorilik fra en af personkabelbane-terminalerne. Yderst i fjorden ses Nugssuaq, en afstand på godt 250 km.