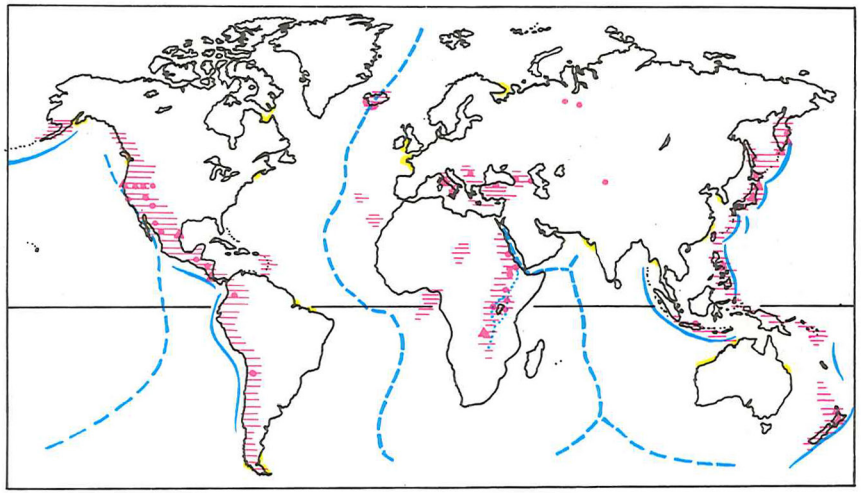
Denne risiko kan formindskes væsentligt gennem et grundigt geologisk forarbejde. Ud fra en indgående undersøgelse af et områdes geologiske, geofysiske, hydrogeologiske og geokemiske forhold og sammenligning med forholdene i kendte geotermalfelter kan man vurdere et givet områdes muligheder og udvælge de steder, hvor mere detaljerede undersøgelser og eventuelt boringer skønnes forsvarlige.

I eftersøgningen af geotermalfelter anvendes nu også luftfotografier optaget fra fly eller satelliter. Benyttes film følsom for infrarød stråling kan man direkte se, hvor varmeudstrømningen er særlig stor.

De Forenede Nationer har flere projekter i gang vedrørende eftersøgning og udnyttelse af geotermale felter. Dette understreger den vægt man lægger på udviklingen af geotermal energi.



Gult angiver områder med tidevandsforskel på mere end 5 m. Udnyttelse af tidevandsenergi må formentlig begrænses til disse områder. Cirka 50 % af denne energikilde findes i det tyndt befolkede nordvestlige Australien. Rødt angiver jordklodens "varme zoner", trekanterne: geotermale elværker i drift og under bygning, cirklerne: geotermale felter udnyttet til opvarmning og andet.
Blå stiplede linier angiver midtoceanrygge (spredningszoner), blå optrukne linier: pladegrænser med nedslæb og prikket: riftdale.

Henning Sørensen

VARV

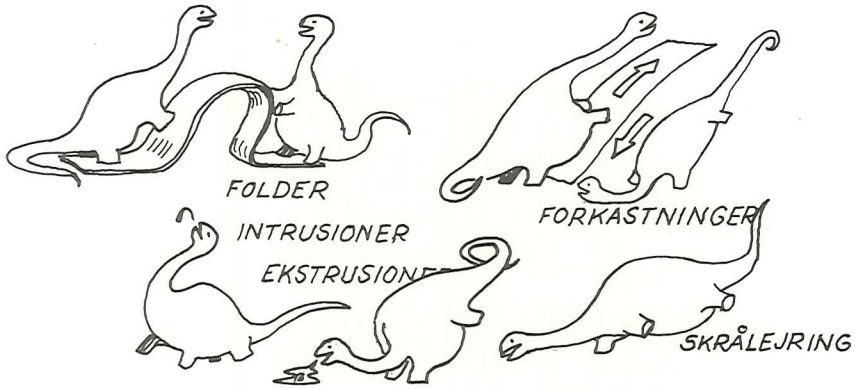
NR. 1 BLADET MED DE ÆLDSTE NYHEDER 1975



ARKTISKE STRANDE PRÆGES AF PROCESSER, SOM MAN KUN SJÆLDENT SER HERHJEMME. TILSTEDEVÆRELSEN AF IS - SELV I DEN KORTE SOMMER - KENDETEGNER DE ØSTGRØNLANDSKE STRANDE. DET MEDFØRER BLANDT ANDET - SOM BILLEDET VISER - AT DER DANNES ISOPPRESNINGSVOLDE PÅ STRANDFLADEN. I DETTE NUMMER SER VI NÆRMERE PÅ DE ØSTGRØNLANDSKE STRANDE - DESUDEN AFRUNDES ENERGISERIEN AF EN ARTIKEL OM TIDEVANDSENERGI OG GEOTERMALENERGI. VI FORTSÆTTER MED BERØMTE STEN, OG SER I DETALJER PÅ, HVAD KUNSTIGE JORDSKÆLV FORTÆLLER OM SALTSTRUKTURER I DEN JYSKE UNDERGRUND.

GLÆDELIGT NYT OG DÅLIGT NYT

VARV har nu fremstillet en geologisk grundbog - "STRUKTURER" af T.C.R.Pulvertaft. Bogen omhandler alle mulige strukturer, som kan ses i sediemntære, vulkanske og foldede bjergarter. Bogen er på 80 sider i Varv format og tilsendes frit, når De blot indsender 20 kr på giro 68880 (mærk talonen "strukturer").



Skuffede læsere må vente endnu en stund på deres kort over Danmarks undergrund. På grund af tekniske fejl har hele oplaget måttet kasseres - men VARV arbejder med sagen, og når vi selv kan være resultatet bekendt, vil de trofaste og tålmodige læsere få kortet tilsendt. (9/1 1975).

VARV

Postadresse: Tidsskriftet VARV, Mineralogisk Museum, Øster Voldgade 5-7, 1350 København K. (tlf. (01) 135001).

Redaktion: Valdemar Poulsen (ansvarshavende), Mona Hansen, Erling Bondesen, Finn Surlyk.

VARV udkommer fire gange om året. Prisen er 24.00 kr i abonnement. Abonnement tegnes ved indsendelse af beløbet til VARV, postgiro 68880.

VARV's plakater (10 kr), postkort i farver (8 for 7 kr), ekskursionsførere (Bornholm 20 kr, Stevns-Fakse-Møn 20 kr) og samlekasetter (til 6 årgange 10 kr) fås ved at indsende beløbet på postgiro 68880.

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

© 1975 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kun efter tilladelse.

Anvendelsen af geotermal energi er ledsaget af en betydelig støjforurening og af udstrømning af forurenende stoffer, som svovlbrinte, arsen og kviksølv. Et geotermalt kraftværk kan tilføre lige så meget svovl til atmosfæren som et oliefyret kraftværk med samme kapacitet.

I "våde" felter skal store mængder varmt, til dels saltholdigt vand skaffes af vejen, hvilket ikke uden videre kan ske ved udledning i søer og floder. Man vil i en række tilfælde være henvist til at pumpe affaldsvandet tilbage i borehullerne. Dette kan være fordelagtigt, idet nedpumpning af afkølet vand vil kunne stimulere cirkulationen i reservoiret. Nedpumpning vil også kunne modvirke indsynkning af jordoverfladen, et almindeligt ledsagefænomen, hvor man oppumper store mængder væske (vand eller olie). Nedpumpning af affaldsvand er dog ikke risikofri. Geotermal energi udnyttes jo først og fremmest i aktive geologiske zoner med mange forkastninger. Det nedpumpede vand vil eventuelt kunne udløse jordskælv, hvorfor forkastningerne i geotermalfelter må overvåges nøje.

Man ved endnu ikke, hvor lang tid man vil kunne udnytte et geotermalfelt. De enkelte borehuller har dog begrænset levetid, dels tapper man ofte varmen hurtigere end den kan ledes til borehullerne, dels vil hullerne efterhånden blive lukket af udfældede mineraler. I Wairakei tappes energien med en hast på 500.000 kcal/sec, men der ledes kun 160.000 kcal/sec til borehullerne. Det varme vand i en del felter er stærkt korroderende, hvilket er et alvorligt problem.

På plussiden tæller, at det i en del områder vil være muligt at udvinde biprodukter. I Lardarello begyndte man for eksempel at udvinde borsyre af dampene allerede i 1812 - siden 1827 ved hjælp af dampenes egen varme. Andre mulige produkter er kviksølv, sølv, guld og andre metaller, alun, drikkevand og vand til kunstvanding (eventuelt efter afsaltning). Man vil også i visse områder kunne udnytte spildvarmen, måske til fremstilling af brint. Dette sidste vil kunne medvirke til at udnytte geotermalfelter i tyndt befolkede egne, hvor det er et betydeligt problem at forsende den udvundne energi.

GEOTERMAL ENERGI OG GEOLOGIEN

Geotermale felter er vanskelige og dyre at finde. Mange undersøgte vulkanfelter har vist sig ikke at kunne udnyttes, og et geotermalt reservoir liggende i få hundrede meters dybde kan kun vanskeligt spores på jordoverfladen. Et kendetegn for et godt geotermalfelt er jo netop, at varmereservoiret er dækket af uigennemtrængelige bjergarter.

Geotermalfelter kan kun med sikkerhed påvises ved hjælp af boringer, og mange boringer er nødvendige for at bestemme, om et felt er stort nok til at kunne udnyttes, og om temperaturen er høj nok. Der er derfor, som i olieeftersøgning, et risikomoment i prospektering efter geotermal energi.

Jordens vulkaner udspyr årligt cirka 3000 milliarder tons varmt vand og vanddamp. Man troede tidligere, at en væsentlig del af dette vand var juvenilt, det vil sige, at det stammede fra Jordens "indre". Man ved nu, at juvenilt vand i de fleste tilfælde spiller en helt underordnet rolle, og at vulkanernes og termalfelternes vand hovedsagelig er overfladevand.

Man skelner mellem to typer af geotermale kraftværker:

1. "Tørre" geotermalfelter, hvor kraftværkerne fødes med vanddamp ved temperaturer på 200° C og derover. Dampen har lave indhold af kuldioxid, methan, svovlbrinte, ammoniak, brint og andre luftarter. Dampen stammer fra reservoirer underkastet så lave tryk, at vanddamp ikke kondenseres ved de der rådende temperaturer. Denne type geotermalfelt er sjælden, men har til nu spillet den største rolle, fordi dampen kan ledes direkte til de turbiner, som omsætter dampstrømmen til elektricitet. Felterne ved Lardarello og The Geysers er de vigtigste eksempler.

2. Langt de fleste geotermalfelter er "våde", hvilket vil sige, at varmt vand eller en blanding af vand og vanddamp strømmer ud gennem borehullerne. Temperaturerne kan blive ret høje, 380° C er målt, men trykket i reservoirerne er så stort, at vandet er kondenseret på trods af den høje temperatur. Når vandet stiger op i borehullerne aftager trykket og vandet bryder i kog. Kun den derved dannede vanddamp kan udnyttes i turbinerne, dampen skal derfor skilles fra det varme vand, hvilket kan give store mængder affaldsvand. Da dette vand kan være ret salt - saltindhold på over 25 % er målt - frembyder dette forureningsproblemer. De største kraftværker af denne type findes i New Zealand.

Geotermalt vand, der ikke er varmt nok til el-fremstilling, kan anvendes til opvarmning med mere, således som det er tilfældet i Island. Man har også ikke-vulkanske forekomster af varmt vand, som for eksempel i det ungarnske sedimentbassin, hvor vand med temperaturer på 60-110° C hentes op gennem cirka 2000 m dybe borehuller.

FORDELE OG ULEMPER VED GEOTERMAL ENERGI

Selv om geotermal el-fremstilling er billigere end elektricitet baseret på olie, kul og naturgas - kun vandkraft er en billigere energikilde - og selv om geotermal energi har den fordel at kunne anvendes i små kraftværker på 25-50 MW, er der dog knyttet betydelige ulemper til geotermal kraft.

For det første er virkningsgraden meget lav på grund af den lave temperatur. Kun 14-20 % af energien omsættes til elektricitet, og er der tale om et "vådt" felt med for eksempel 20 % damp og 80 % vand, vil det sige at meget store energimængder går til spilde. Der er derfor en betydelig termisk forurening i geotermalfelter. Nu er der altid en naturlig termisk forurening i vulkanske områder, men denne forstørres ved el-produktionen, idet man jo tapper skjulte varmereservoirer.

EN ARKTISK TIDEVANDSKYST

af Lars Clemmensen og Finn Surlyk.

Kysterne langs de Østgrønlandske fjorde er maksimalt isfri 2 af årets måneder. Dette forhold er hovedårsag til at de arktiske strande er i besiddelse af forskellige formelementer som ikke kendes fra strande i mere tempererede områder.

Isen langs stranden bryder op sidst i juli og en åben zone udvikles temmelig hurtigt langs kysterne. Havisen og en del af isen midt i fjorden bliver dog liggende og medfører en stærk dæmpning af bølgeaktiviteten. Tidevandsstrømme fører de opbrudte isflager frem og tilbage langs kysterne og ved højvande strander adskillige isflager på stranden eller i de bagved liggende tidevandslaguner, hvor de smelter i solvarmen usædvanlig hurtigt. Ved isflagernes kuren hen over stranden dannes forskellige skurestriber og oppresningsvolde som kan ses selv længe efter at isflagerne er smeltet.

De arktiske strande består af sand, der oftest er temmelig stenet. Hovedsageligt i juni måned føres dette materiale ud til kysterne af store smeltevandselve. Fra elvdeltaerne transporteres det langs med kysten af tidevands- og vindstrømme (figur 1).

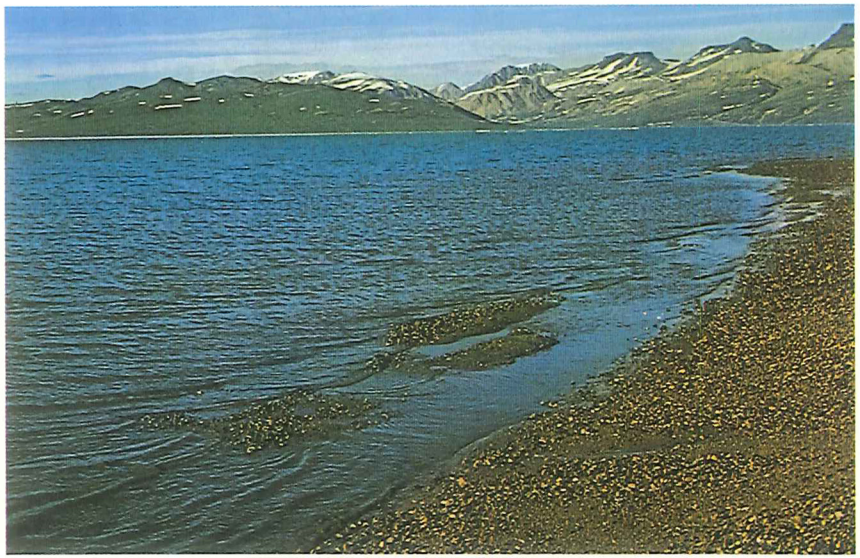
Ved en sedimentologisk undersøgelse af strandområder har det vist sig nyttigt at opdele dette miljø i en række karakteristiske undermiljøer. De enkelte undermiljøer beskrives hver for sig, idet man især noterer sedimentets kornstørrelse og sammensætning samt karakteristiske overfladeformer og de interne sedimentstrukturer såsom krydslejringer, idet det er disse som har størst chance for at blive genfundet i gamle geologiske aflejringer. Særlige sedimentstrukturer kan måske vise sig at være karakteristiske for det pågældende miljø. Finder man således i et geologisk profil skurestriber eller små oppresningsstrukturer i forbindelse med strandaflejringer viser det, at sandet var aflejret i et arktisk kystområde.

En arktisk tidevandskyst kan opdeles i følgende undermiljøer: forstrand, bagstrand, lagune og tidevandsindløb (se figur 2).

Forstranden udgøres af den svagt skrånende sandflade, som findes mellem høj- og lavvandsmærket. Forstranden udformes af bølgeaktiviteten i opskylszonen. I den kystnære del af forstranden finder man ofte en række små grusrygge, der løber parallelt med kystlinien. Disse dannes under den langsomme bortsmeltning af flager af kystis i forbindelse med de allerførste stadier af issmeltningen, hvor kun en smal brømme langs kysten er åben. Kystisen indeholder sand og gruspartikler, som frigøres ved isens bortsmeltning og aflejres i små grusrygge (se figur 3). Ved længere tids bølgevirksomhed udglattes disse rygge og til sidst forsvinder de helt (se figur 4).



Figur 1. Elvdelta i Østgrønland. Grus og sand aflejres på deltafladen, mens det finere materiale føres ud i fjorden og afbøjes af tidevandsstrømmen.



Figur 4. Grusryggene i strandkanten bliver angrebet af bølgerne og afrundes langsomt.

Data vedr. geotermale elværker

	MW(e) 1973	MW(e) 1980	Gennemsnitsdybde af borehuller (m)	Temperatur °C	Saltindhold (%)
Italien					
Lardarello (1904)	365	365	1000	245	<0,1
Monte Amiata (1960)	25	25	1500 ?	150	-
Travale	-	15	-	-	-
USA					
The Geysers (1960)	396	908	2500	245	<0,1
Salton Sea (1979 ?)	-	50	1300	300-350	26,0
New Zealand					
Wairakei (1959)	192	290	1000	270	1,2
Kawerau (1971)	10	10	1200	285	
Broadlands (1976)	-	100	1300	280	
Mexico					
Pathé (1959)	3	3	-		
Cerro Prieto (1973)	75	150	1500	300	1,5
Rosarita Beach (1980)	-	304	-	-	-
USSR					
Pauzhetsk, Kamchatka (1969)	20	120 ?	600	200	0,3
Paratunka, Kamchatka (1969)	0,6	0,6	-	-	
Makhackala, Caucasus (1972)	12	12	-	-	
Kunashiry, Kuriler (1973)	6	12 ?	-	-	
Island					
Hveragerdi (1969)	17	32	800	260	0,1
Namafjal (1969)	3	3 ?	900	280	0,4
El Salvador					
Ahuachapan (1977)	-	60 ?	1000	230	1,0
Taiwan					
Tatun (1977)	-	10	-	-	-
Tyrkiet					
Kizildere (1978)	-	30	-	-	-
Guadeloupe					
Bouillante (1978)	-	25 ?	-	-	-
Philippiner					
Tiwi-Luzon (1980)	-	10	-	-	-
Japan					
Matsukawa (1966)	20	60	1100	230	<0,1
Otake (1967)	13	62	500	200	0,4
Hachimantai (1973)	10	10	-	-	-
Onikobe (1975)	-	10	-	-	-
Hatchobaru (1975)	-	50	-	-	-
Katsukonda (1980)	-	200	-	-	-
Shikabe	-	7	-	-	-

Varmekilden vil i de fleste tilfælde være et størknende eller netop størknet magma. 2. Der skal være dybtgående sprækkesystemer, således at overfladevand (såkaldt meteorisk vand) kan føres 2-6 km ned til bjergarter, som er varmere end cirka 300° C. 3. Dette vand skal kunne cirkulere i et reservoir af varme permeable bjergarter, for eksempel vulkanske breccier eller opsprækkede lavaer. Reservoiret skal være så stort, i hvert fald større end 5 km^3, at det kan opvarme vandet gennem mange tiår. 4. Reservoiret af permeable bjergarter skal overlejres af impermeable dæklag, som forhindrer det opvarmede vand i at sive væk. Dæklagene kan bestå af lersedimenter eller kompakte vulkanske bjergarter. I visse tilfælde har et termalfelt forseglet sig selv, idet det varme vand har lukket sprækkerne i dæklagene ved hjælp af udfældede mineraler som opal, kvarts eller kalkspat. 5. Reservoiret må ikke ligge dybere end 3000 m - man udnytter nu reservoirer i dybder mellem 300 og 1500 m. 6. Der skal være nok vand eller vanddamp til at transportere varmen.

Mekanismen i et geotermalfelt er iøvrigt, at det kolde overfladevand synker ned i varmereservoiret, hvor det bliver ophedet. Derved udvides vandet, det bliver lettere og stiger opad for igen at blive afkølet og synke ned. Varmen transporteres således ved konvektion.

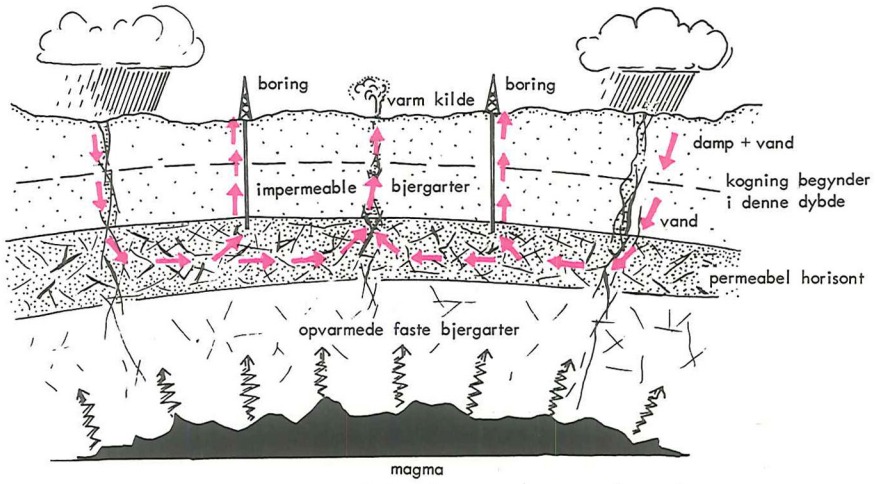
derefter at pumpe det op gennem andre huller. Permeabiliteten af de varme bjergarter tænkes fremskaffet kunstigt, enten ad hydraulisk vej ved hjælp af vand presset ned under stort tryk, eller ved hjælp af sprængninger. Plowshare Projektet i USA sigter mod opsprækning af dybtliggende bjergarter ved hjælp af atomsprængninger. Denne teknik kan også anvendes ved udvinding af olie.

VULKANSKE OMRÅDERS TERMALFELTER

Varmeledningen gennem overfladens bjergarter (heat flow) varierer fra sted til sted og er størst i jordoverfladens aktive zoner, først og fremmest pladegrænserne med vulkanisme og jordskælvsaktivitet.

Udnyttelse af geotermal energi til el-produktion må indtil videre begrænses til de vulkanske områder, for kun der når man temperaturer på 200-300° C i få hundrede meters dybde.

Det er endnu ikke muligt at udnytte vulkanernes varme direkte - forsøg herpå er imidlertid i gang i Kamchatka. De vulkanske områders varme udnyttes via det geotermale vand, som cirkulerer gennem de varme bjergarter.

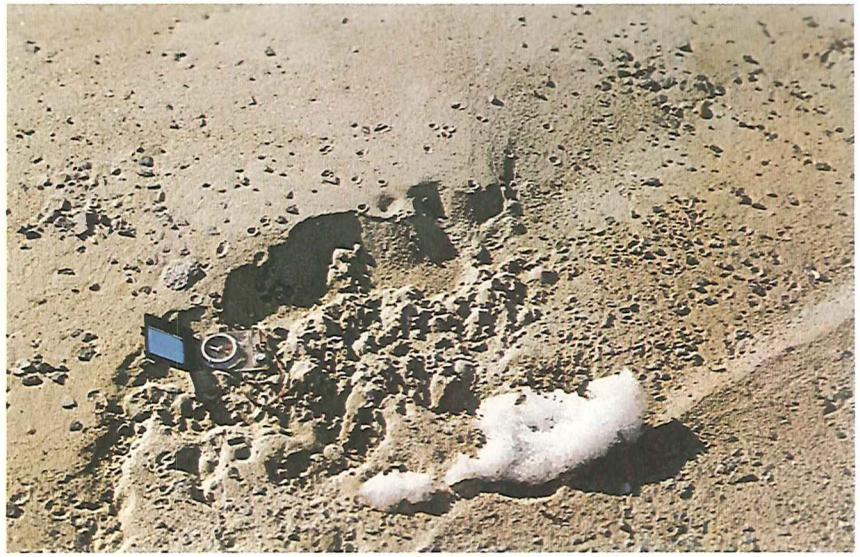


Idealiseret snit gennem et geotermalfelt. Pilene angiver vandets bevægelse.

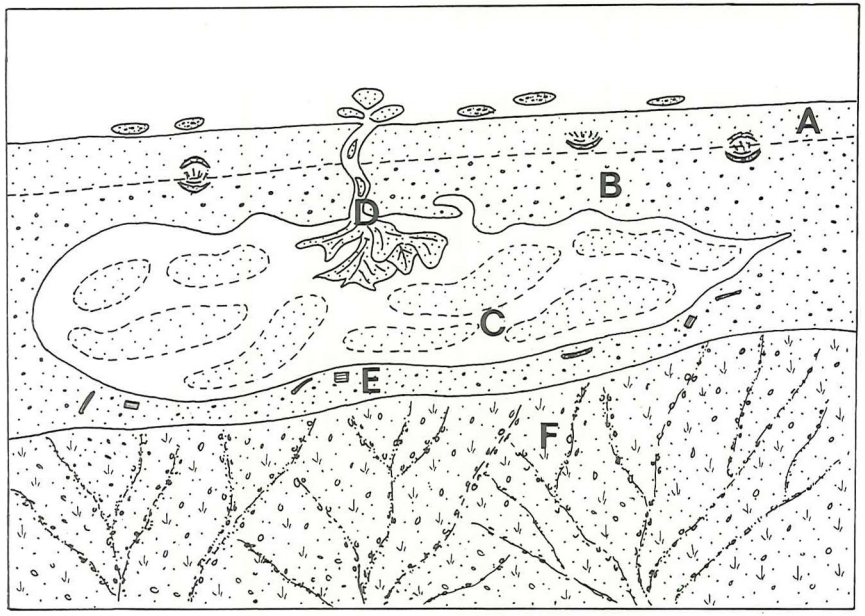
Mange betingelser skal være opfyldt på en gang for at et udnytteligt geotermalfelt kan dannes, hvilket er forklaringen på, at ikke alle vulkanfelter kan danne basis for geotermale kraftværker. Disse betingelser er: 1. Der skal få km under jordoverfladen findes en varmekilde med temperaturer over cirka 600° C, som kan opvarme de overliggende bjergarter.



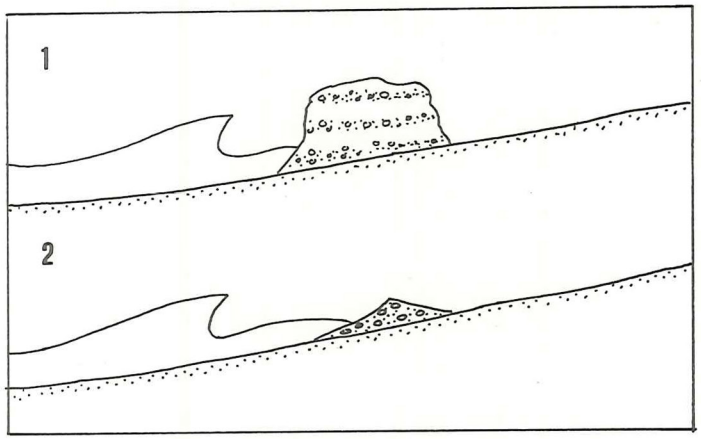
Figur 6. Oppresningsvold med tilhørende skurestriber visende to forskellige retninger dannet under isflagens bølgebetingede vandring hen over stranden.



Figur 7. Ved isflagens afsmeltning dannes små "regndråbeaftryk" i det omkringliggende strandsand.



Figur 2. En arktisk tidevandskyst umiddelbart efter at kystisen er brudt op. A: Forstrand med små grusrygge i strandkanten. B: Bagstrand med flere små oppresningsvolde dannet af strandede isflager. C: Tidevandslagune med sandbarrer og tidevandskanaler. D: Tidevandsindløb med foranliggende tidevandsdelta. E: Stormstrand med drivtømmer. F: Bagland opbygget af deltakegler.



Figur 3. Dannelsen af grusrygge i strandkanten. 1: En flage af kystis er transporteret ind i opskylszonen og smelter langsomt bort. 2: En grusryg dannes af det frismeltede materiale.

Jordvarme har været udnyttet siden gammel tid til opvarmning og i husholdningen - anvendelsen i medicinske bade er velkendt.

Udnyttelse i større stil begyndte i 1904, da de første el-generatorer blev sat i drift ved Lardarello i Toscana. Dette anlæg er nu verdens største geotermale elværk med en kapacitet på 365 MW(e). Man anvender 240° C varm damp fra ca. 200 borehuller, der er 400-1000 m dybe. På Island har man siden 1928 anvendt geotermalt vand (80-140° C) til husopvarmning, opvarmning af drivhuse med mere. Nu forsynes 40 % af Islands befolkning med geotermal varme. El-produktion baseret på 250° C varmt vand påbegyndtes ved Wairakei i New Zealand i 1959, og baseret på damp (175-240° C) i The Geysers området i Californien i 1960. Geotermal varme udnyttes nu desuden i Japan, USSR, Mexico, Kenya og Ungarn, og udnyttelse er under planlægning i adskillige lande.

I 1973 var el-kapaciteten i geotermale kraftværker på over 1100 MW, og geotermal varme udnyttedes desuden til opvarmning, i industrien, til køling og luftkonditionering med mere. Sammenholdt med det totale energiforbrug er det meget små mængder, der er tale om, men den lokale anvendelse af geotermal varme er af den allerstørste betydning, som det for eksempel ses i Island. Betydningen af geotermal energi forventes at ville øges væsentligt i de kommende tiår.

DEN GEOTERMISKE GRADIENT

Den varmemængde, som ledes til jordoverfladen i et bestemt område, kan beregnes ud fra måling af den geotermiske gradient, det vil sige det antal Celcius grader temperaturen stiger fra overfladen og 1 km ned i Jorden, og ud fra måling af bjergarternes varmeledningsevne. (Se Varv 1972,4). Den geotermiske gradient og varmetilførslen til jordoverfladen varierer fra sted til sted. Den gennemsnitlige varmetilførsel (heat flow) er på 0,063 watt pr. m^2 jordoverflade eller totalt 32 TW, det vil sige nogle tusindedele af den varmemængde, som solstrålingen tilfører jordoverfladen (Varv 1974, 3).

Den gennemsnitlige geotermiske gradient er på 30°/km, hvilket vil sige, at man i et gennemsnitsområde skal cirka 7 km ned for at nå de cirka 200° C, som er den laveste temperatur, man kan drive et geotermalt elværk ved. Man kan således ikke bygge geotermale kraftværker i gennemsnitsområder. Derimod kan man i sådanne områder anvende geotermal energi til opvarmning, for eksempel ved hjælp af varmepumper, der har fået en del omtale i dagspressen, og som nu er ved at blive markedsført i Danmark.

Det overvejes desuden i USA og andre lande, at udnytte varmen i dybtliggende tørre bjergarter i egne med lidt stejlere geotermal gradient end den normale. Dette vil kunne gøres ved at lede overfladevand ned gennem borehuller og lade det cirkulere gennem de varme bjergarter for

Hertil kommer, at tidevandsenergi kun kan udnyttes til el-fremstilling i kystzoner med stor forskel mellem høj- og lavvande, og hvor de topografiske forhold tillader en inddæmning af et passende vandområde, en fjord eller flodmunding. Der er faktisk kun få gunstige lokaliteter, og flere af disse ligger i ubeboede egne.

Man kan beregne den totale tidevandsenergi ud fra den målelige opbremsning af jordklodens rotation, som skyldes tidekræfterne. Døgnet forlænges af denne årsag med 0,001 sekund pr. århundrede. Der er ialt tale om 3 TW (terawatt, 1 TW = 10^{12} watt) eller ca. 2 % af den energi, som vil kunne udvindes af kontinenternes elve og søer. Da tidevandsenergien som nævnt kun vil kunne udnyttes i få kystområder, og da virkningsgraden ved el-fremstilling ud fra tidevand er så lav som 15-25 %, fremgår det, at tidevand kun i meget begrænset omfang vil kunne danne grundlag for el-fremstilling.

Der er nu to tidevandskraftværker i drift. På Bretagnes kyst er tværs over La Rance flodens munding bygget en dæmning, der afskærer et vandområde på 22 km^2 og med en tidevandsforskel på 8 m. Man har her på grund af særligt gunstige topografiske forhold opnået en virkningsgrad på 25 %. Værket har nu en kapacitet på 320 MW(e). 1 MW (megawatt) = 10^6 watt, (e) angiver, at det er elektriske MW. Et mindre tidevandskraftværk er bygget i Kislaya bugten nær Murmansk.

Ved planlægningen af tidevandskraftværker behøves geologisk sagkundskab først og fremmest ved udvælgelsen af de steder, hvor dæmningerne kan bygges.

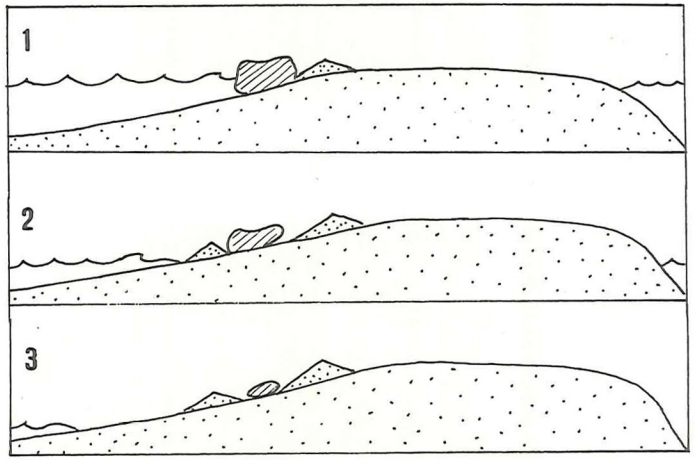
GEOTERMALENERGI

Jordkloden er et stort varmereservoir, men varmen er diffust fordelt i meget stærk fortynding. Udnyttelse i større stil kan kun komme på tale, hvor varmen er koncentreret, det vil sige i jordklodens varme zoner.

Jordvarmen (den geotermale varme) kan delvis være en rest af jordklodens primære varme, men skyldes hovedsagelig den varme, der udvikles ved nedbrydningen af jordskorpens radioaktive grundstoffer, uran, thorium og kalium. Jordvarmen kan derfor betegnes som fossil atomenergi, ligesom kul, olie og naturgas er fossil solenergi. Gnidningsvarme udviklet ved tidejordsbevægelsen og ved bevægelse i jordklodens aktive zoner, det vil sige grænserne mellem de store plader, som jordoverfladen kan opdeles i (Varv 1972, 3), bidrager også til jordvarmen.

Jordvarmen transporteres til jordoverfladen ved varmeledning gennem jordskorpens bjergarter samt ved vulkanske processer. På stort dyb, hvor temperaturen er høj, transporteres varme også ved varmestråling og ved opstigning af smeltede stenmasser, magmaer, der har temperaturer over 700° C.

Bagstranden befinder sig over højvandsmærket. Indadtil begrænses bagstranden af en lille stejlskrænt ned mod lagunen. Bagstranden dækkes kun sjældent af havvand og forskellige overfladeformer som moskusoksespor bevares ofte meget længe på bagstranden. Særlig karakteristisk for den allerlaveste del af bagstranden er tilstedeværelsen af nogle lave oppresningsvolde (se figur 5). Højvandet transporterer mindre isstykker op på stranden, hvor isstykkerne bliver fanget i sandet. Særlig kraftige bølgeskvulp vil skubbe isklodsen yderligere op på bagstranden med det resultat at en lav ryg presses op foran isklodsen (se figur 5). Ved faldende vandstand vil isklodsen kunne blive slæbt et lille stykke ned mod havet af bølgernes tilbageslag. Resultatet bliver igen dannelsen af en lille oppresningsryg (se figur 5). Ved lavvande er isklodsen som regel smeltet bort og tilbage er blot to oppresningsvolde med tilhørende slæbespor (se figur 6) samt eventuelt nogle "regndråbeaftryk" dannet under isklodsens afsmeltning, hvor smeltevandet drypper ned i sandet (se figur 7).



Figur 5. Dannelsen af oppresningsvolde på stranden. 1. Højvande: Isflager skubber strandsandet op i små volde. 2. Faldende vand: Nye volde dannes ved isflagernes kuren ned ad strandfladen. 3. Ebbe: Isflagerne smelter bort og voldene står tilbage.

Lagunen er en kystparallel sænke, som står i forbindelse med havet via tidevandsindløbet. Ved højvande fyldes lagunen langsomt fra havsiden, og der aflejres et fingerformet delta ud for tidevandsindløbets munding (se figur 8). Isklodser kan eventuelt blive transporteret ind i lagunen ved højvande, hvor de bliver fanget og hurtigt smelter bort under den grønlandske sommersol. Ved særlig kraftigt højvande transporteres store mængder sand ind i lagunen og aflejres i form af sandbarrer. Sandbarrernes omrids be-



Figur 8. Ved højvande transporteres sand ind i lagunen og aflejres i form af et lille delta.



Figur 9. Stærkt bugtet tidevandskanal dannet ved det indkommende højvandes eroderende virkning.

TIDEVAND & JORDVARME

af Henning Sørensen

I Varv nr 3, 1974 er på side 92 givet en skematisk fremstilling af energistrømmen ved jordoverfladen. Jordvarme og tidevandskræfter ses hver at bidrage med energimængder, der er forsvindende små i sammenligning med den solenergi, der opvarmer jordoverfladen. Alligevel håber man, at disse energikilder, i hvert fald lokalt, vil kunne udvikles til at blive vigtige alternativer til de fossile brændsler og atomkraft.

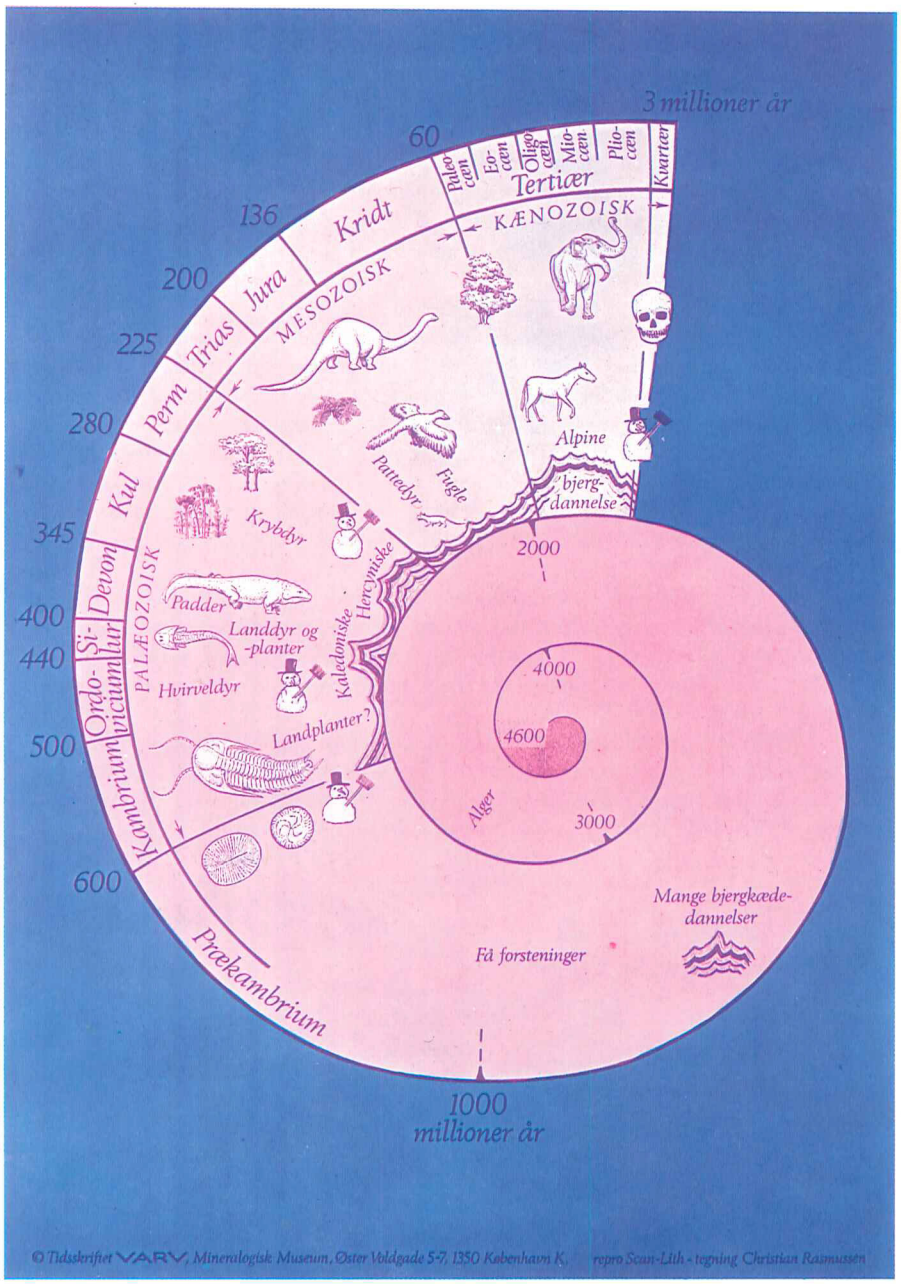
TIDEVANDSENERGI

Månens og solens tyngdefelter påvirker jordkloden, hvilket tydeligt ses som ændringer af havenes vandstand - tidevandet. Også den faste jord påvirkes af disse kræfter, men tidejordsfænomenerne kan kun påvises ved hjælp af fintmærkende måleudstyr. De gnidningskræfter, som denne påvirkning fremkalder i jordskorpen, bidrager imidlertid til jordvarmen, som vi skal vende tilbage til nedenfor.

Forskellen mellem flod og ebbe, det vil sige høj- og lavvande, andrager som regel mindre end 1 m i oceanerne, men i bugter og fjorde langs oceanernes kyster når forskellen lokalt op på 20 m og er ofte 5-10 m.

Mennesket har i århundreder udnyttet tidevandsenergien i pumper og møller, men i meget lille skala og til lokalt brug. Da tidevandet sætter enorme vandmasser i bevægelse, er det imidlertid nærliggende at forsøge at udnytte denne vandbevægelse, og niveauforskellen mellem høj- og lavvande, til energifremstilling i større stil. El-fremstilling ud fra tidevand forurener hverken vand eller luft, og det er en stedse fornyelig energikilde.

Der er dog knyttet store vanskeligheder til udnyttelsen af tidevand som energikilde. Den hydroelektriske udnyttelse af opdæmmede søer og elve er baseret på faldhøjder, der kan overstige 100 m, og på en kontinuert og koncentreret strøm af vand, som løber én vej. Også i et tidevands-elværk skal vandet opdæmmes, men faldhøjden kan kun blive på få meter. Vandstrømmen er væsentlig bredere og skifter retning, hver gang det har været høj- eller lavvande. Dette stiller uhyre store krav til de turbiner, der skal omdanne vandbevægelsen til elektricitet. Turbinerne skal være store og skal kunne arbejde både når vandet løber frem og tilbage. De skal eventuelt også kunne fungere som pumper, fordi tidevandscyklen jo kun undtagelsesvis korresponderer med perioder med spidsbelastning af elnettet. Det vil derfor være fordelagtigt at kunne pumpe vandet op i reservoiret i perioder, hvor elnettet ikke er belastet, for at kunne producere elektricitet, når belastningen øges.





Figur 10. Bølgeribber dannet i lavvandet bassin på bagstranden.



Figur 11. Udtørringssprækker og regndråbeaftryk i leret materiale aflejret i lavvandet bassin på bagstranden.

stemmes som oftest af strømmene i lagunen, som skifter fire gange i døgnet og eroderer et helt netværk af tidevandskanaler. Ved højvande er strømmene rettet bort fra tidevandsindløbet, mens strømmene søger hen mod tidevandsindløbet ved faldende vande. De således dannede tidevandskanaler kan undertiden have besynderlige spiralsnoede former (se figur 9). Barrerne og kanalerne i lagunen er ofte dækket af små strømribber, der angiver vandets strømningsretning. Undertiden kan man være så heldig at finde ribber dannet under henholdsvis flodstrømmen og ebbestrømmen bevaret på samme barre. Finder man noget tilsvarende bevaret fossilt kan man være temmelig sikker på, at den pågældende aflejring er blevet dannet under tidevandsforhold.

Tidevandsindløbet er en svagt bugtet rende, som forbinder havet med lagunen. Under stærk bølgevirksomhed kan den yderste del af renden eventuelt sande til og helt afsnøre lagunen fra havet. Ellers strømmer vandet igennem renden med skiftende retning døgnet rundt. Renden er ofte over 1 meter dyb og angiver således hvor stor tidevandsforskellen er i det pågældende område. Langs rendens sider kan man meget ofte iagttage en række vandrette striber, såkaldte faldende vandstandsmærker. Disse striber dannes som navnet siger ved ebbe, når vandstanden i lagunen langsomt falder. Svag bølgeaktivitet ved hvert vandniveau efterlader et lille erosionshak i rendens sider. Lignende erosionsstriber kan for øvrigt også iagttages langs lagunens stejlskrænter. Finder man lignende vandstandsmærker i fossile sedimenter kan man ofte tolke dette som resultat af skiftende vandniveauer i forbindelse med tidevand.

I overgangsområdet mellem lagune og bagstrand dannes ofte små lavvandede bassiner. Her kan det finere materiale blive aflejret. Dette kan ske i forbindelse med kraftig vind, hvilket vil medføre at materialet danner små bølgeribber (se figur 10). Bassinerne kan senere tørre ud og det lerede materiale sprækkes op under solens udtørrende virkning (se figur 11).

Nutidige danske strande dannes under klimaforhold ganske afvigende fra de, der hersker i de østgrønlandske fjorde. Følgelig finder man langs danske strande kun yderst sjældent - hvis overhovedet - de ovenfor nævnte små formelementer dannet i forbindelse med kystisens opbrydning. Går vi imidlertid tilbage i tiden til kvartærperiodens kuldetidsrum, har Danmark i flere tidsafsnit, sidst i senglacialtiden, haft et lignende klima som det der i dag råder i Østgrønland. Langs det danske senglaciale ishavs kyster aflejredes strandsand almindeligvis kendt under betegnelsen Saxicava-sand. Et nærmere studie af disse senglaciale ishavsaflejringer vil sandsynligvis afsløre tilstedeværelsen af en eller flere sedimentstrukturer hidrørende fra tilstedeværelsen af is, for eksempel deformeret sand dannet ved oppresning fra isflager. Ligeledes ville et studie udfra disse betragtninger af andre kvartære strandaflejringer eventuelt kunne afgøre om disse var aflejret i et ishav, eller under mere tempererede klimaforhold.

Lars Clemmensen Finn Surlyk

Det er muligt, at der foruden den her omtalte forkastning også dannedes en sydhældende forkastning på toppen af diapiren (indtegnet med en stiplet linie i figur 7), således at der opstod en mindre gravsænkning (graben-struktur) med en øst-vestlig udstrækning. Tilstedeværelsen af en sådan struktur antydes af forholdene i boringer nogle få hundrede meter øst for det seismiske profil. Der er her fundet forholdsvis tykke Tertiære og Kvartære aflejringer, mens jævnaldrende aflejringer ellers kun viser ringe mægtigheder eller mangler helt inden for strukturens top, hvor Danien kalksten i et 1,5 - 2 km bredt bælte ofte kun dækkes af 2-3 m moræne afsat af istidens eroderende gletschere.

Efter istiden er den øverste del af saltet i Vejrum strukturen blevet udsat for det cirkulerende grundvands opløsende virksomhed. Derved dannedes et s a l t s p e j l, som i dag på strukturens top findes i en dybde af cirka 240-245 m under jordoverfladen (svarende til cirka 205 m under havniveau), se figur 7. På strukturens flanker ligger saltspejlet dybere.

Oven over saltspejlet findes "caprock", et restlag af tungtopløselige mineraler fra saltserien, for eksempel gips. Restlagets tykkelse varierer stærkt indenfor korte afstande. Således er "caprock" kun cirka 10 m tykt i en boring cirka 600 m vest for profilet, mens det når cirka 67 m 300 m øst for det.

Til slut skal det understreges, at denne rekonstruktion af Vejrum saltstrukturens udviklingshistorie ikke uden videre kan antages at gælde for andre danske saltstrukturer. Hver struktur har haft sin egen udvikling, og det vil i hvert enkelt tilfælde være nødvendigt at tage alle geofysiske og geologiske data i betragtning.

Men som det ses af det ovenstående, kan man få mange oplysninger ud af de seismiske registreringer. I de senere år er den seismiske metode blevet yderligere forbedret på grund af EDB teknikken, og vi kan forvente, at nye målinger vil give endnu sikrere oplysninger.

Frank Mandsberg



Gennembruddet af saltet og dermed overgang til diapirstadiet indtraf i Jura perioden. Saltbevægelsen op i diapiren skyldtes utvivlsomt det belastningstryk, som de nyaflejrede Jura-sedimenter udøvede. Det materialeunderskud, som opstod uden om diapiren på grund af saltets flydning fra pudestrukturen op i diapiren, blev udlignet ved aflejring af usædvanlig tykke sedimenter langs randen af saltdiapiren. Alderen af diapirstadiet angives af den sekundære randsænke, der overvejende er opfyldt med Jura-sedimenter, som bliver gradvis tyndere væk fra strukturen. Ovenpå selve toppen af diapiren må de tilsvarende Jura-sedimenter have været betydeligt tyndere, da diapirens top nåede nær havoverfladen, eller muligvis endog dannede tørt land i visse afsnit af Juratiden (se figur 4). På overgangen mellem Jura- og Kridttiden må en del af Jura-sedimenterne være blevet borteroderet, og toppen af selve saltet blev sandsynligvis blottet (figur 5). På denne erosionsflade blev sedimentlag fra Nedre Kridt aflejret parallelt med de underliggende Juralag i profilets sydlige del mens, der nordligere ved saltstrukturen, og især ved den sekundære randsænke, udvikledes en tydelig vinkeldiskordans (markeret med en bølgelinie i profilet i figur 5). Denne vinkeldiskordans, hvor fladtliggende lag fra Nedre Kridt hviler på hældende Juralag, angiver en standsning i diapirens dannelse.

Opadbøjningen af vinkeldiskordansen og udtyndingen af lagene fra Nedre Kridt oven over saltstrukturen (figur 6) viser dog, at opstigningen af saltet begyndte igen i Nedre Kridt, men saltet er kun lokalt brudt igennem disse sedimenter. På baggrund af oplysninger fra et par boringer, som findes i nærheden af profilet, ved vi, at skrivekridtet fra Øvre Kridt (Senon) enten hviler direkte på saltet eller er adskilt fra dette af nogle få meter mægtige lag fra Nedre Kridt. Man kan således formode, at diapiropstigningen ved Vejrum igen bragtes til standsning ved grænsen mellem Nedre og Øvre Kridt.

Sedimentationen af de overalt meget tykke aflejringer fra Øvre Kridt, hovedsagelig skrivekridtet, fremkaldte fornyede vertikale bevægelser i saltmassen. Det kan ses af, at lagene fra Senon og Danien (Ældste Tertiær) er betydeligt tyndere oven på end uden for saltstrukturen (figur 6). Dette gælder ligeledes de efterfølgende tertiære sedimenter, der er opadbøjede i lighed med bjergarterne fra Øvre Kridt (figur 7). Bevægelserne i Øvre Kridt og Tertiær kan betegnes som postdiapiriske.

Den nordhældende forkastning, som kan ses ovenpå strukturen (figur 1), blev sandsynligvis dannet i Nedre Kridt, som vist i figur 6. Da forkastningsbevægelsen foregik samtidig med, at sedimenterne fra Nedre Kridt aflejredes, blev aflejringerne tykkere på forkastningens nordside end på dens sydside. Fremkomsten af denne forkastning kan sættes i forbindelse med en ændring i saltbevægelserne, som medførte at diapiren fik en bredere form. De øverste dele af diapiren blev "bredt ud", hvilket resulterede i dannelsen af normal forkastninger.

BERØMTE STEN 2

af Elsebeth Thomsen

I serien om berømte sten skal her fortælles historien om to runesten - de danske Jellingsten.

JELLINGSTENENE

Om de runesten på kirkegården i Jelling hedder det, (A.F.Schmidt 1933), at den store, Harald Blåtands sten, blev kastet af en jættekvinde, der boede i den sydlige høj, Gorm's høj. Formålet var at ødelægge kirken, da klokkeklangen, vel sagtens på grund af det nære naboskab, generede hende. Heldigvis nåede stenen ikke sit mål. Hun havde stenen i forklædet, og da hendes forklædebånd gik itu, faldt den ned lige udenfor våbenhusets dør, hvor den er at se i dag.

Den lille Jellingsten, som Gorm satte til minde om sin hustru Thyre, skulle derimod ifølge en beskrivelse af Jelling fra 1797, videregive budskabet om en nedgravet skat på en nærliggende mark, og tilføjes det "hvor mange tusinde bønder der i egnen er ikke rejst til de dødes rige, som levede og døde i den tanke."

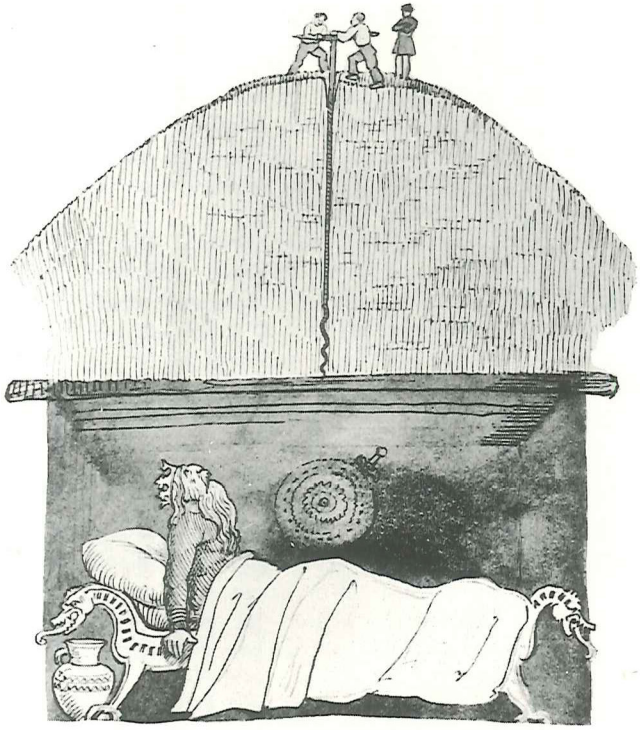
Hverken stenen, der slynges efter kirken, eller den nedgravede skat er ualmindelige motiver i de fortællinger, der eksisterer om større sten i Danmark. På den tid de opstod, havde man nemlig glemt alt om de mange sten, der i moræneområderne var strøet ud over landet og som gennem generationer var blevet samlet og bragt bort for at jorden kunne dyrkes, kirker bygges og så videre. Tilbage lå kun de virkelig store sten, der ikke umiddelbart kunne flyttes. Deres tilstedeværelse krævede en forklaring, der kunne blive som ovenstående om den store Jellingsten, som blev kastet af en jætte. Set med datidens øjne var det en yderst fornuftig forklaring, dels kendte man ikke lignende bjergarter og dermed sten i den nærmeste omegn, når undtages Bornholm, dels måtte det jo kræve mange kræfter at kaste stenen, og det eneste man vidste kunne udføre en sådan præstation var jætter, kæmper eller trolde.

Når forklaringen stammer fra kristen tid, er det tit kirken, der bliver målet, men man kender også til at personer har kastet sten efter hinanden - for eksempel dronning Margrethe efter hertug Albrecht, der dog ifølge historieskriverne slap med at blive taget til fange.

Som man havde glemt de mange sten, havde man også glemt hvorledes runerne skulle læses, men dog husket, at det var skrifttegn, der forklaredes som en henvisning til en nedgravet skat, da den lille sten hverken gjorde sig bemærket ved størrelse eller billeder.

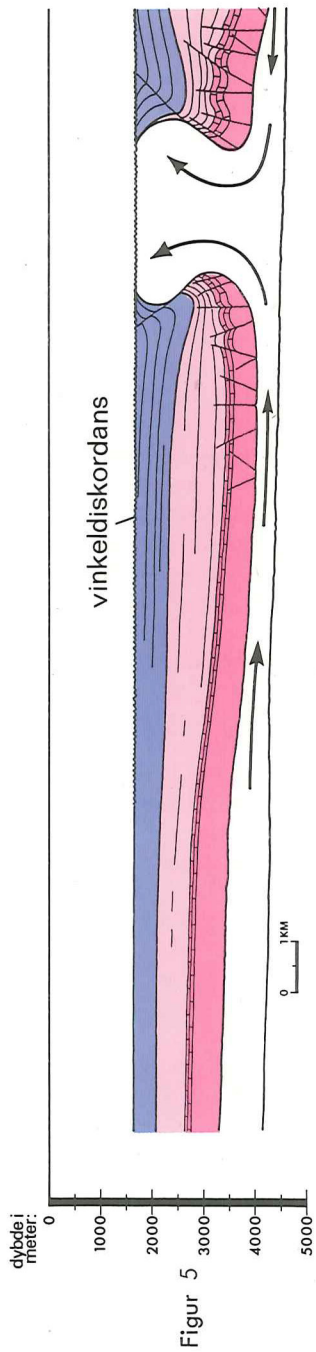
Noget sandt er der imidlertid i historierne, thi de store sten er transporteret, omend ikke slynget, af en naturkraft med mindst lige så mange kræfter som en jætte, nemlig Kvartærtidens is.

De kaldes derfor vandreblokke eller erratiske blokke, (af erratum der betyder fejl, da stenene jo ikke hører hjemme, hvor de nu findes) og består oftest af modstandsdygtige bjergarter som granit eller gnejs fra Skandinaviens grundfjeld, altså som påpeget tidligere af bjergarter, der indenfor Danmark kun ses på Bornholm. Nogle af blokkene er så let genkendelige, at man med det samme kan sige, hvorfra de stammer. Således er for eksempel Mørupstenen sydvest for Herning af larvikit, en grovkornet bjergart, der hovedsagelig består af silkeskinnende feldspat og et mørkt mineral, augit. Larvikit findes faststående i Norge, nærmere betegnet i Oslo-området. Men langt de fleste vandreblokke er desværre ikke så nemme at spore tilbage til oprindelsesstedet, og det gælder også Jellingstenene.

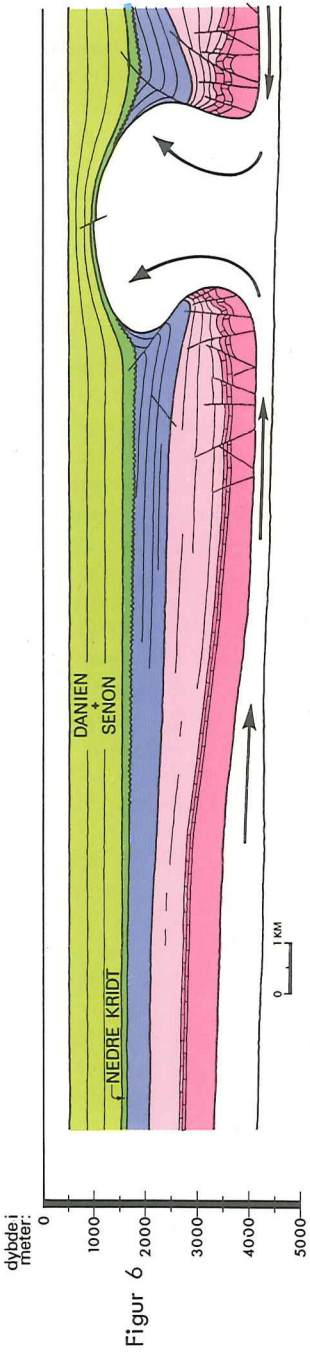


„Ha! Ved Asathor! Hvad er det for en Larm i Hulen?"

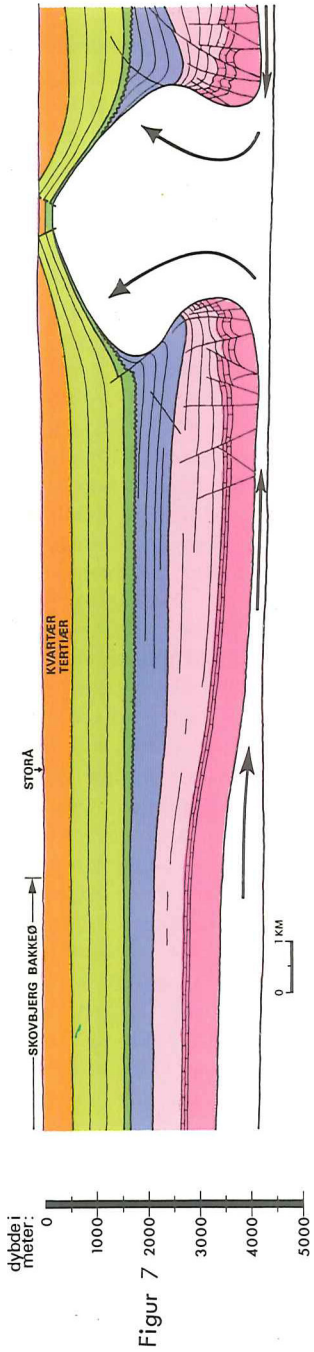
Figur 1. Fra det tidspunkt hvor man troede at man ville finde kong Gorm. Satirisk tegning af Kornerup. (Nationalmuseet).



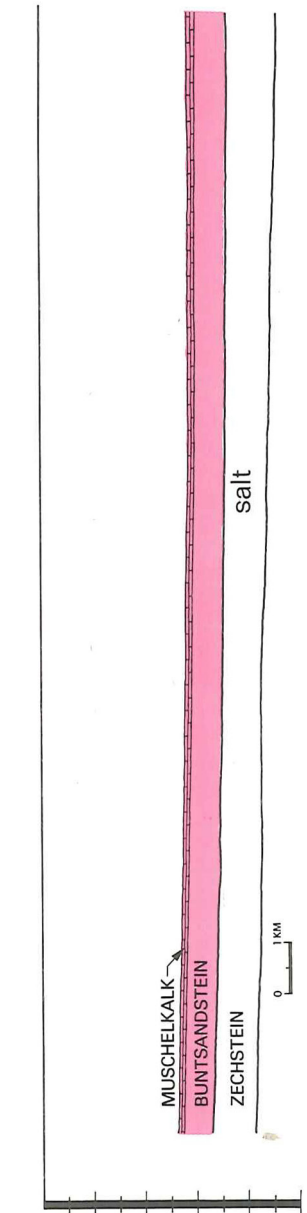
Figur 5



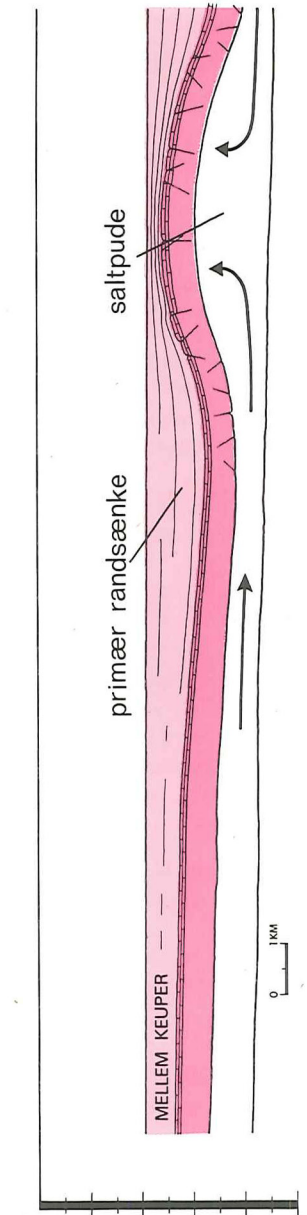
Figur 6



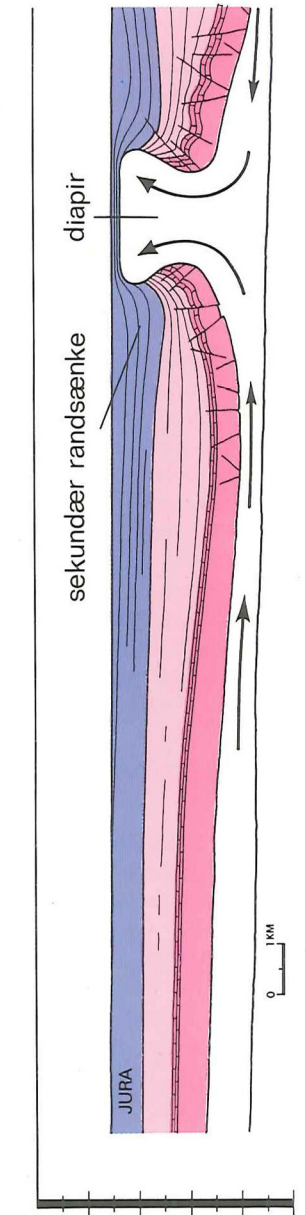
Figur 7



Figur 2



Figur 3



Figur 4



Figur 2. Bagsiden af Gorm's sten.

Den store sten, hvis helt specielle trekantede form med de glatte isslebne sider gør den til et unikum, måler godt 2,4 m i højde over terræn og henholdsvis 2,9 m, 1,7 m og 1,6 m i maksimal bredde af de tre sider. Det er en øjegnejs, det vil sige en gnejs med store øjelignende feldspatkorn i den ellers finkornede stribede bjergart, som udgør grundmassen. Desuden er stenen gennemsat af rødlige årer.

Gorm's sten er af mere normal form, og har oprindelig været tilspidset foroven, hvilket er almindeligt hos bauta- såvel som runestene. Mere usædvanligt er det, at den også er tilspidset forneden. Stenen måler cirka 1,4 m i højde over terræn, 1,1 m i bredde og 0,5 m i tykkelse og består af en almindelig lysegrå gnejs.

Af disse to bjergarter kan øjegnejsen med ret stor sikkerhed siges at stamme fra Sverige, og det er måske også tilfældet med den almindelige gnejs. Begge, eller i hvert tilfælde øjegnejsen er sandsynligvis blevet bragt til Danmark med det sidste isfremstød under sidste istid, Weichel-istiden.

Indenfor landets grænser kan stenene, hvoraf den store må være omhyggeligt udvalgt, hidrøre fra Jellings nærmeste omegn, men det er ligeså muligt, at de er hentet længere borte. Deres vægt er nemlig overkommelig, hvilket ikke kan siges at være tilfældet med Svingelandsstenen eller Tislundstenen, der begge har været nævnt i forbindelse med Harald's udvælgelse af sin sten (A.F.Schmidt 1933). Førstnævnte kendes der allerede

en fortælling om fra 1340, sidstnævnte først i 1832. I begge tilfælde hedder det, at Harald måtte opgive at bringe stenen til Jelling, fordi der var udbrudt oprør. Desværre er Svingelandsstenen i 1700-tallet gået en krank skæbne i møde, idet den blev sprængt og blandt andet brugt til svinetrug. Heldigvis nåede man kun at tilføje Tislundstenen mindre skade, inden den blev fredet.

Begge Jellingsten er mindesten og følgelig anbragt, hvor de fleste ville kunne se dem, og placeringen af de to sten i Jelling hænger da også nøje sammen med denne bys fortid som kongesæde for Gorm.

Oprindelig var der kun en bronzealderhøj, men da dronning Thyre døde cirka 935 e.Kr., satte kong Gorm hende et minde ved at lade rejse en skibssætning af bautasten i forbindelse med højen og opstille den lille runesten, måske som stævnsten i skibssætningen. Gorm døde cirka 950 og gravlagdes sammen med Thyre i et trækammer, der lavedes ned i bronzealderhøje, som derefter opbyggedes til dens nuværende skikkelse. Derudover rejste kong Harald Blåtand, deres søn, en runesten til minde om sin far og mor. Få år senere cirka 955-965 påbegyndtes sydhøjen, der paradoksalt nok kaldes Gorm's høj, af Harald, muligvis til brug for ham selv. Denne høj anlagdes over den sydlige del af skibssætningen, men stadig på dennes længste akse, og Harald's sten blev flyttet til den nuværende position, midt mellem de to høje. Imidlertid døbtes Harald cirka 960 under pression udefra, og det er måske grunden til, at sydhøjen ikke fik noget gravkammer - det ville jo være hedensk at lade sig bisætte i en høj.

Derfor ledte man forgæves efter Gorm, da man i 1861 borede og gravede i højen under Frederik d. VII's velvillige og interesserede overvågen. Figur 1.

Omkring 970 besejrede Harald nordmændene og cirka 983 var Danmark samlet. Da han døde et par år efter, tilføjedes på den store sten til minde om ham: "den Harald, som sig vandt Danmark al og Norge og danerne gjorde kristne".

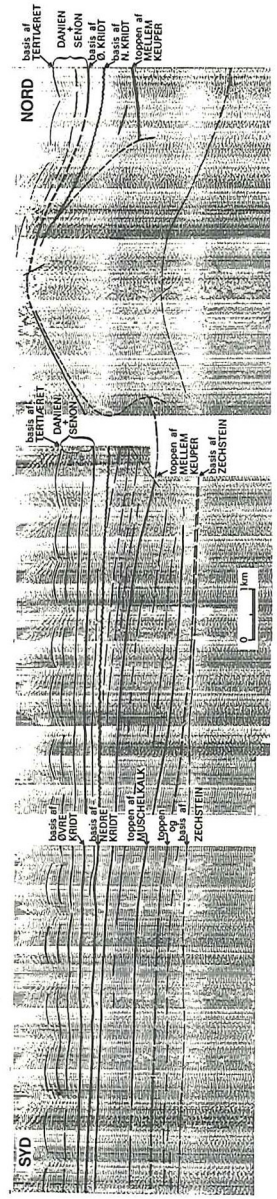
Alle indskrifter på de to sten blev hugget i datidens runer, på olddansk efter det alfabet man gik over til ved vikingetidens begyndelse cirka 800 e.Kr. Det havde 16 skrifttegn til forskel fra det ældre med 24. Almindeligvis ristede man runerne begrænset af streger, de såkaldte rammestreger, således at budskabet stod at læse nedefra og opefter, altså lodret. Det ses på den lille sten, men på den store løber sætningerne vandret, vel sagtens af monumentale grunde.

På Gorm's sten står følgende:
"Gorm konge gjorde kumler disse efter Thyre kone sin - Danmarks bod"
Runerne er hugget næsten vinkelret på stribningen i stenen og omgivet af rammestreger, der ender i spiraler på den ene side, men ellers er stenen uden ornamentering. Figur 2.

Som det kan ses i figur 1, bliver flere af de veldefinerede seismiske horisonter i profilet mindre tydelige eller de forsvinder helt langs saltstrukturens flanker og top. Dette skyldes interferens mellem de seismiske bølger. Den store "fold" i refleksionsfladen ved basis af Zechstein (= Øvre Perm), der ses lige under saltdiapiren, må antages at være en "tilsyneladende fold", som skyldes, at hastigheden for de seismiske bølger i saltet generelt er betydeligt højere end i de tilstødende sedimenter. I de efterfølgende figurer er der derfor set bort fra denne "fold", og man har også under selve saltdiapiren indtegnet basis af Zechstein som en lige og svagt nordhældende linie.

I profilet (i figur 1) ses også en "forkastning", som gennemskærer basis af Zechstein-reflektionen under toppen af diapiren. Da tilstedeværelsen af denne forkastning er noget tvivlsom, er den heller ikke indtegnet i de geologiske profiler (figur 2-7). Det er dog muligt, at den første flydning af salt og dannelsen af saltpuden ved Vejrum, ligesom ved andre saltstrukturer i det nordjyske Zechstein bassin, skyldtes forskydende kræfter i den dybere undergrund.

Ved Vejrum begyndte saltflydningen og akkumulationen af det plastiske salt efter aflejringen af de Mellem Triassiske (Muschelkalk) sedimenter. Dannelsen af den primære randsænke, som afspejler pudestadiet, skete hovedsageligt i Mellem Keuper (Øvre Trias) (figur 2 og 3). Pudedannelsen varede sandsynligvis endnu et stykke tid, det vil sige også under aflejringen af Øvre Keuper og Rhæt (Øverste Trias) sedimenter. Tilstedeværelsen af disse sedimenter kan ikke afsløres af refleksionsseismiken, da de, hvad tæthed og vægtfylde angår, ligner de efterfølgende sedimenter fra Jura. Til gengæld er toppen af Mellem Keuper som regel en klar og pålidelig reflektionshorisont.



Figur 1

En seismisk historie

af Ivan Madirazza.

I forbindelse med olie og gas efterforskningen i Danmark er et større antal seismiske profiler blevet opmålt af både udenlandske og danske firmaer. I Jylland har interessen især været rettet mod undergrundens saltstrukturer, omkring hvilke der ofte dannes fælder ("traps"), der kan fungere som reservoirer for olie og gas.

Et refleksionsseismisk profil giver oplysninger om forløbet af de mest markante grænseflader mellem undergrundens formationer, (se Varv 1973, 1). Ved sprængning af en dynamitladning i et kort borehul sendes chockbølger ned i jorden, og når chockbølgerne rammer laggrænser, der markerer springvise ændringer i bjergarternes tæthed og vægtfylde, vil der ske en delvis tilbagekastning (refleksion) af chockbølgerne. Tidspunktet for sprængningen og ankomsten af de reflekterede bølger registreres automatisk på skrivere (geofoner), der er opstillet på række på begge sider af sprængstedet, og derved fremkommer et refleksionsseismogram. Flyttes sprængpunkt og geofoner systematisk langs profillinien fås et refleksionsseismisk profil, hvor hver enkelt lodret linie i profilet angiver et "sammensmeltet" refleksionsseismogram fra ét sprængpunkt.

Figur 1 viser et refleksionsseismisk profil målt tværs over Vejrum saltstrukturen i Vestjylland. Profilet, der går N-S, stort set langs Holstebro-Struer landevejen, blev udført af Shell Denmark Ltd i 1963. Afstanden fra profilets overkant til en bestemt refleksionsflade i undergrunden svarer til den tid, chockbølgerne var om at nå ned til fladen og tilbage igen til geofonerne på jordoverfladen. Når man kender chockbølgernes vandringshastigheder i de forskellige formationer, kan profilet omtegnes til et geologisk profil, hvor laggrænserne tegnes i de rigtige dybder og med de virkelige hældninger. På Danmarks geologiske Undersøgelse har geofysikeren J.C.Baartman udført en sådan omtegning af det refleksionsseismiske profil over Vejrum strukturen. Under benyttelse af dette profil har forfatteren udarbejdet en profilserie (figur 2-7), der viser, hvorledes Vejrum strukturen har udviklet sig igennem de forskellige geologiske tidsafsnit. I sin tolkning har forfatteren også benyttet oplysningerne fra andre jyske boringer og den halve snes boringer, der er udført i Vejrum strukturens top omkring profillinien. Disse sidste, kun få hundrede meter dybe, boringer gør det muligt at rekonstruere saltdiapirens højeste dele - selvom de seismiske refleksioner herfra er utydelige. Oplysninger fra korte vandboringer og eget feltarbejde i området er også benyttet.

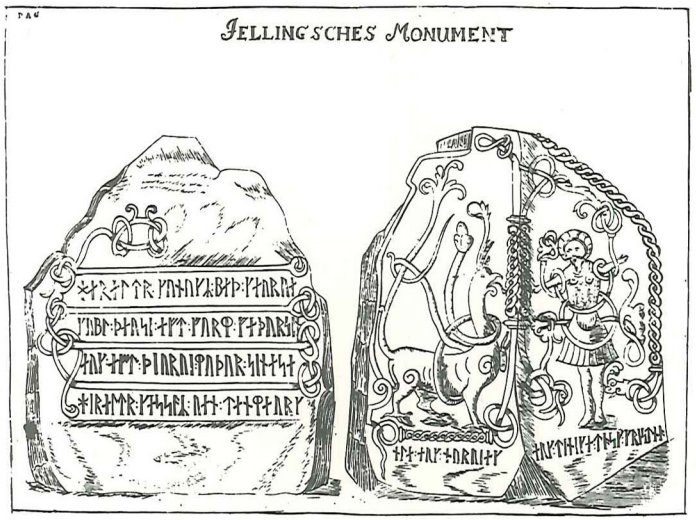
Det siger sig selv, at stenhuggeren nødigt har villet hugge i stribningsretningen, da der så var chance for, at runerne hurtigere ville forvitre bort. Det gør sig også gældende på Harald's sten, hvorpå man læser:
"Harald konge bød gøre kumler disse efter Gorm fader sin og efter Thyre moder sin, den Harald, som sig vandt Danmark al og Norge og danerne gjorde kristne"
Som tidligere omtalt er dette indhugget i to omgange, hvilket blandt andet fremgår af de mangelfulde rammestreger, hvoraf nogle endda er ubenyttede.

På den største side, figur 3 og 4, findes også den største indskrift, indrammet af en slange, hvis hoved ses ved toppen af stenen. Man kan ligeledes se, at rammestregerne står skråt i forhold til stribningen, men vinkelret på stenens kanter, hvilket medfører, at der bliver god plads til ornamenteringen. Tilføjelsen ved Harald's død røbes ved, at dens nederste rammestreg er enkelt og ikke forbundet med slangen, som tegneren i 1730 åbenbart ikke har haft meget til overs for, da han slet ikke har opfattet, at der forekommer sådanne på stenen. I den ledsagende tekst fremgår det, at forfatteren Erik Pontoppidan er klar over det, "eines Löwen, um dessen Leibe sich eine Schlange gewunden".

Den næste side, figur 3 og 5, viser en Kristus-skikkelse indflettet i løvværk med akantus-lignende blade i spidserne. Hele billedet er omgivet af en reb-ornamentering, der forbinder det med sidste side. Figuren, der tilsyneladende har haft overskæg i 1730, er hugget i lavt relief, cirka 1 cm over grundfladen. Det gælder også for slangen og de ældste rammestreger på den største side, såvel som for den sidste sides billede. Under figuren er meget passende ristet "og danerne gjorde kristne", igen med ufuldstændig rammestreg som på den sidste side, figur 3 og 6, hvor "al og Norge" er at læse under et drabeligt billede af et firbenet dyr i kamp med en slange. Førstnævnte er blevet tolket som en grif, en løve og en drage. Det er i besiddelse af en manke, næb? og spidse ører samt akantus-gevækster, der gror ud fra hoved og hale. Dyret er efter alt at dømme ved at blive kvalt af en slange, men dette er dog kun rent stilistisk, og skal ikke opfattes bogstaveligt. Bevægelsen i dyret er fint i overensstemmelse med bjergartens retning.

Konklusionen må blive, at den store Jellingsten, med undtagelse af de senere tilføjelser, er et virkeligt mesterværk, der sammen med den lille sten og resten af komplekset på værdigste måde repræsenterer Nordens vikinger.

Elisabeth Thomsen



Figur 3. Træstik af den store Jellingsten, efter Erik Pontoppidan: Theatrum Daniæ 1730.



Figur 4. Harald's sten. Indskriptionssiden.



Figur 5. Harald's sten. Kristus-siden.



Figur 6. Harald's sten. Dyre-siden.