



Et udsnit af den sydlige del af Lønstrup Klint profilet, hvor der findes Yngre Yoldialer overlejret af Øvre Saxicavasand. Da aflejringerne er yngre end det sidste isfremstød i området, er de ikke forstyrrede. Specielt i det Yngre Yoldialer (nederst i billedet) er det almindeligt at finde muslingeskaller, ikke af *Yoldia* (*Portlandia arctica*), men af *Saxicava* (*Hiatella arctica*), der sidder i leret med begge skaller hængende sammen.

I den sydlige del af Lønstrup Klint profilet forekommer der en række forkastninger af særegen art, forkastninger, der kan lede tanken hen på, at der i nyere tid er sket forsætninger dybere nede i Jorden. Tilsvarende 'neotektoniske' bevægelser synes nu registreret bl.a. på Læsø. Inden længe håber VARV at kunne bringe en artikel om disse spændende, men samtidig tankevækkende bevægelser - i ellers rolige områder - i undergrunden.

St. Sj.



RUBJERG KNUDE KLINT I DET VESTLIGE VENDSYSSEL. DEN KILOMETER-LANGE KLINT BESTÅR I DEN CENTRALE DEL AF ISOPSKUBBEDE SKIVER AF LER OG SAND. HEROVER FINDES ET DÆKKE AF FLYVESAND, OG VINDEN FLYTTER STADIGVÆK SAND FRA SKRANINGEN OP PÅ OVERFLADEN, HVOR DET DANNER KLITTER OG DÆKKER FOR RUBJERG KNUDE FYR. BLIVER FYRET MON STAENDE TIL EVIG TID ? - ELLER FORSVINDER DET OM FØJE ÅR SOM FØLGE AF HAVETS EROSION ? VARV GIVER ET SVAR. I DETTE NUMMER BERETTES DER OGSÅ OM BETON OG SKADESRAMT BETON, HVORFOR REVNER DET ? EN GEOLOG HAR SET NÆRMERE PÅ BETON.



Mod sædvane indeholder dette nummer kun 2 større artikler, den ene om de geologiske forhold i Rubjerg Knude i Vendsyssel, og den anden om skadesramt beton, et emne, der senere vil blive belyst med endnu en række eksempler fra det virkelige liv.

Fra VARVs kontor beder Anita indtrængende om, at abonnenter, der ikke længere ønsker at modtage VARV, sender et postkort. Det vil spare megen tid og porto.

Enhver henvendelse til VARV bør i øvrigt forsynes med abonnementsnummer, det er det midterste nummer i den kode, Postvæsenet anvender ved udsendelsen af VARV. De første 4 cifre er VARVs eget nummer, de næste cifre er dine personlige, og de sidste 2 cifre angiver en såkaldt 'service-gruppe'. VARV råder over en cifferkode, så ved eventuelle navneforvekslinger, utydelige poststempler og lignende, kan Anita med dit nummer let se, hvem du er.

Som anført nedenfor bør adresseændringer ske direkte til Postvæsenet, det giver os besked. Får Anita ændringen, skal hun meddele den til 'væsenet', der så skal give os besked bagefter. Flytter du, er det nok at meddele det til P&T.



Adresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Centralinstitut, Øster Voldgade 10, 1350 København K. Telefon: 01 - 11 22 32

Kontor: Anita Ege, mandage kl. 9-16. Andre dage kan henvendelse ske til Steen Sjørring på samme telefon.

Redaktion: Valdemar Poulsen (ansvarshavende), Asger Berthelsen, Jens Konnerup-Madsen, Svend Pedersen, Steen Sjørring og Sven Laufeld (Sverige).

Renskrift: Gitte Sjørring

Montage: Steen Sjørring

Repro: Vest-Scan a/s, Esbjerg

Tryk: Johnsen & Johnsen a/s, København

VARV udkommer fire gange årligt. Prisen er 60 kr. i abonnement i 1986.

Abonnement tegnes ved at indsende beløbet til VARV, Postgiro 9 06 88 80 eller 50 Skr. til VARVs svenske postgirokonto 4388 - 5.

Adresseændringer eller fejl ved bladets levering bedes meddelt postvæsenet.

© 1986 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kun efter aftale.

## DANSK GEOLOGISK FORENING

Dansk Geologisk Forening blev oprettet i 1883. I mere end 100 år har foreningen gennem foredrag og tidsskrifter udbredt kendskabet til geologi i almindelighed, og til Danmarks og Grønlands geologi i særdeleshed. Under Dansk Geologisk Forening er der en lang række klubber, der samler personer med specielle interesser som f.eks. mineralogi, sedimentologi og palæontologi. Set samlet, er der møde i foreningen eller i en af klubberne næsten hver uge. Møderne afholdes for det meste i Århus eller i København.

Dansk Geologisk Forening udgiver 2 tidsskriftserier, en international sproget (mest engelsk) *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, som udkommer med fire hæfter om året, for det meste samlet i 2 bind, samt en dansksproget version *Dansk Geologisk Forenings Årsskrift*, der især behandler danske geologiske forhold. Som medlem af foreningen modtager man både *Bulletin* og *Årsskrift*.

Før i tiden skulle man anbefales af 2 værdige medlemmer for at opnå medlemskab, i dag er det lettere, man skal blot henvende sig til foreningen og betale sit kontingent. I 1986 er kontingentet fastsat til 250 kr for almindelige medlemmer og til 125 kr for studerende.

Dansk Geologisk Forening har adressen: Øster Voldgade 5-7, 1350 København K.

## DANSK AMATØRGEOLOGISK UNION



Dansk Amatørgeologisk Union (DAGU) er et repræsentantskab bestående af 10 af de eksisterende stenklubber i Danmark. DAGU blev stiftet i 1985 og behandler emner af fælles interesse, koordinerer indsamlingsture, indsamler adresser på findesteder samt prøver - med andre organisationers medvirken - at bevare lokaliteter af geologisk interesse.

Medlemmer af DAGU har et medlemskort, der samtidig er et introduktionskort til ejere af stenbrud, miner og andre geologiske lokaliteter. På dette kort, som forsynes med foto, er der en forklarende tekst på dansk, engelsk, tysk og fransk, der gør det lettere at få adgang til geologiske områder.

Formand for DAGU er: Mette Rask, Skt. Klemensvej 61, 5260 Odense S. Tlf.: 09-15 09 55.

CH ville findes sammen med et højt indhold af det andet hydratiseringsprodukt C-S-H. Billederne viser imidlertid, at det høje CH-indhold må ses som et resultat af, at det gennemsvivende vand både bidrager til den fortsatte hydratisering og dermed til dannelse af ny CH, og at der med udludningen af pastaens øvrige komponenter bliver mere plads, så CH kan udfældes som større krystaller.

## BETON OG SALT

Det andet eksempel på betonskader, vi skal se på, hænger sammen med virkningen af salt. Tidligere tilsattes klorider (salte) til den nyblandede beton for at få hydratiseringen til at ske hurtigere, men det må man ikke mere! Klorider har tydeligvis en skadelig virkning på beton, og specielt hvor der er indbygget armeringsjern i betonen. I nyere tid har man blandt andet på altaner, der jo ofte om vinteren tilføres klorider ved tørsaltning, set omfattende skader. Kloriderne vandrer med vandet ind i betonen langs revner og når på et tidspunkt ind til armeringsjernene. Kloridangreb på jern har form som 'musebid', det vil sige meget lokale og meget dybe indhug i jernene. Der dannes ikke meget rust, så angrebene er ofte meget omfattende, når rustfarvet cementpasta endelig kan ses på overfladen.

Indholdet af klorider i betonen kan måles ved kemiske analyser af betonen i forskellige dybder fra overfladen, så man kan se, hvor langt kloriderne er trængt frem. Da der ofte måles meget høje kloridkoncentrationer på selve overfladen og stærkt faldende koncentrationer selv tæt under overfladen, diskuteres det for tiden, om kloridangrebene på armeringen kan undgås, hvis tilførslen udefra stoppes, og overfladen gøres tæt. Tyndslibundersøgelser af kloridbelastet beton har ikke vist kloridholdige mineraler, men til gengæld udvikles kloridbelastet cementpasta allerede efter 1-2 års forløb, og kan genkendes, selvom koncentrationerne er for små til at kunne skade armeringen i betonen.

Ødelæggelse af cementpastaen ved udludning gør naturligvis, at styrken af betonen aftager. Nok så vigtigt er det dog, at udludningen betyder, at betonen åbnes, så vand, klorider og andre stoffer lettere kan trænge frem og ødelægge betonen yderligere. Det er derfor vigtigt, at tyndslibundersøgelser af beton udføres rutinemæssigt, så for eksempel kloridangreb kan standses i tide. En sådan rutinemæssig undersøgelse i Vestjylland viste, at dele af betonen var belastet af kloridangreb som følge af havgus fra Vesterhavet, men kun på bygværkets vestvendte facade. I et tilfælde var koncentrationen af klorid i betonen kun omkring 0,01 vægt-%, men alligevel nok til at resultaterne kunne ses i de betonpetrografiske undersøgelser.

*Andre eksempler på skadesramt beton følger i et kommende nummer.*

## ØJEGNEJS



Øjegnejs er en almindelig forekommende bjergart i grundfjeldsområderne, også i det skandinaviske. Øjegnejser finder man tit langs vore strande, bragt hertil med ismasserne i Kvartærtiden.

Øjegnejser tilhører gruppen af metamorfe bjergarter, det vil sige typer, der er dannet ved omkrystallisation af andre bjergarter. Øjegnejser adskiller sig fra andre (ganske almindelige) gnejser ved, at de indeholder større øje-formede feldspat-aggregater (i sjældnere tilfælde kan der være tale om enkeltkrystaller), som er parallelt orienterede i bjergarten.

Øjnenes orientering - og i varierende grad også deres form er betinget af den deformation, som fulgte med omkrystallisationen. Længt de fleste øjegnejser er dannet ved deformation og omkrystallisation af oprindelig porfyriske graniter.



*Figuren viser udviklingen fra porfyrisk granit til øjegnejs og den ledsagende deformation.*

Bjørn Hageskov



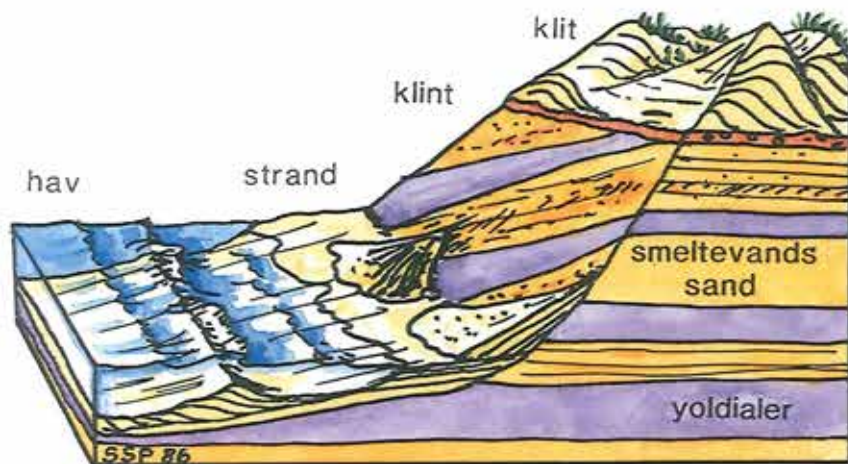
# RUBJERG KNUDE



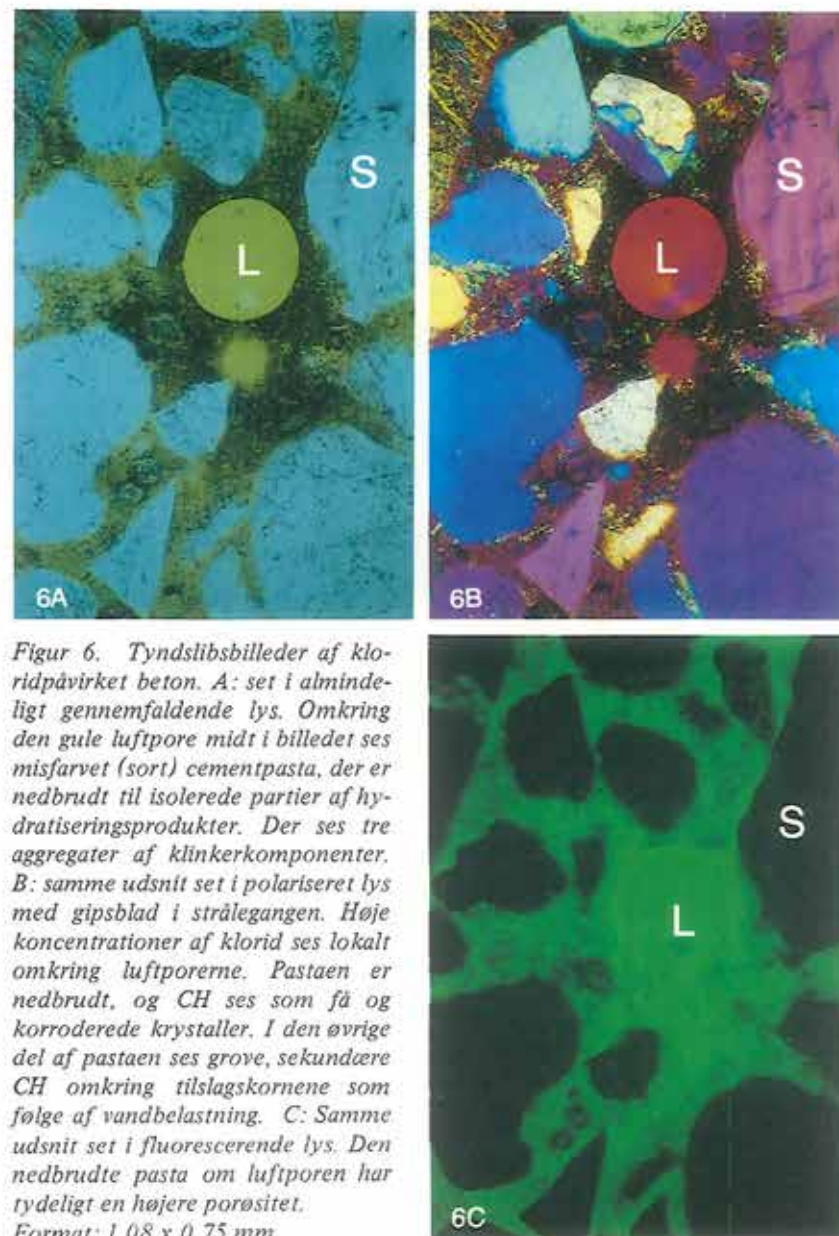
Rubjerg Klint - Rubjerg Klit

af Stig A. Schack Pedersen

Rubjerg klit ligger oven på Rubjerg klint og danner tilsammen Rubjerg Knude (Fig. 1). Det højeste punkt ved Rubjerg Knude er tæt på 90 meter over havet, afhængigt af hvor meget sand, der enten er lagt på - eller er blæst af siden sidste opmåling. Men sikkert er det, at Rubjerg Knude er det mest dramatiske højdepunkt i Vendsyssel, ja og vel sagtens i hele Nordjylland. Rubjerg Knude står med en 30 meter lodret blågrå lervæg direkte ned til Vesterhavet og danner en slags midtpunkt i Lønstrup Klint-profilet, der strækker sig fra Lønstrup i nord til Nørre Lyngby i syd. Lønstrup Klint-profilet er udtømmende beskrevet af nu afdøde statsgeolog Axel Jessen, som målte klinten op ved hjælp af faste måle-

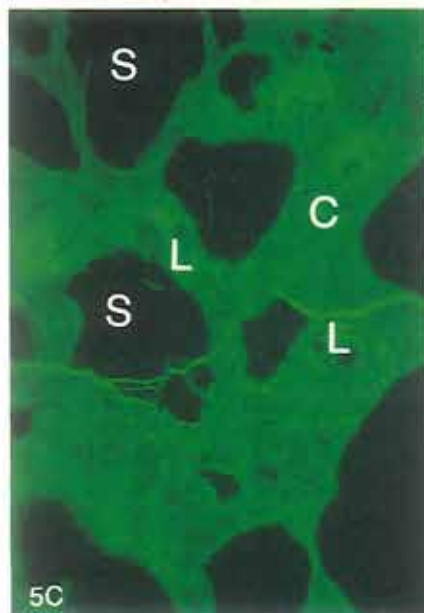
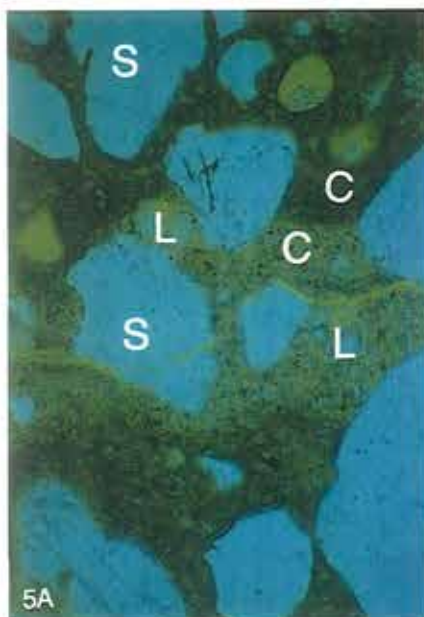


Figur 1. Blokdiagram visende klitten oven på Rubjerg Knude klint. Det viste Yoldialer er her det 'Ældre Yoldialer'.



Figur 6. Tyndslidsbilleder af kloridpåvirket beton. A: set i almindeligt gennemfaldende lys. Omkring den gule luftpore midt i billedet ses misfarvet (sort) cementpasta, der er nedbrudt til isolerede partier af hydratiseringsprodukter. Der ses tre aggregater af klinkerkomponenter. B: samme udsnit set i polariseret lys med gipsblad i strålegangen. Høje koncentrationer af klorid ses lokalt omkring luftporene. Pastaen er nedbrudt, og CH ses som få og korroderede krystaller. I den øvrige del af pastaen ses grove, sekundære CH omkring tilslagskornene som følge af vandbelastning. C: Samme udsnit set i fluorescerende lys. Den nedbrudte pasta om luftporen har tydeligt en højere porøsitet. Format: 1.08 x 0.75 mm.





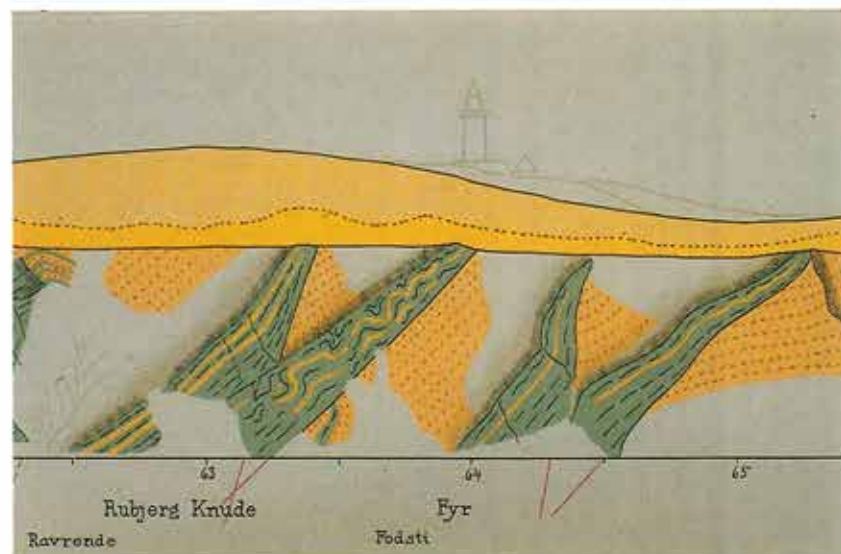
Figur 5. Tyndslidsbilleder af revnet beton. A: set i almindeligt gennemfaldende lys. En revne ses på grund af limens indhold af gult farvestof. Tæt ved revnen ses en farveændring i pastaen, der her indeholder mere farvestof. I to luftporer ses radiært stillede nåleformede krystaller. B: samme udsnit set i polariseret lys med gipsblad i strålegangen. Der ses en forskel i formen på CH-kornene i den smalle omdannede zone om revnen sammenlignet med den uomdannede pasta. De radiært stillede krystaller kan identificeres som Aft-fase. C: Samme udsnit set i fluorescerende lys. Ændringen i porositeten af den omdannede pasta træder nu tydeligere frem. S=sand, C=cementpasta og L=luftporer. Format: 1.08x0.75 mm.

punkter, nemlig tykke pæle rammet ned i stranden. Pælene blev anbragt omkring århundredeskiftet, så de er nu skyllet bort af havet, og de kan kun genfindes på Jessen's flere meter lange trykte profil:

A. Jessen: Vendsyssels Geologi. Danmarks Geologiske Undersøgelse, V. Rk. nr. 2. 1918.

og i:

A. Jessen: Lønstrup Klint. Danmarks Geologiske Undersøgelse, II Rk. nr. 49, 1931.



Figur 2. En meget lille del af A. Jessen's mere end 3 meter lange udtegnings af Lønstrup Klint.

#### Klint og klit

Når man rejser rundt i Nordjylland, kan man let blive lidt i tvivl om, hvad en klit er. En klit lader sig derimod let forklare som en stejl kystskrænt, der ofte er ubevokset, og hvor man tydeligt kan se de geologiske lag af ler, sand, kalk og kridt. I Nordjylland synes klit i bredeste forstand at betyde et bakkedrag, men i en noget snævrere betydning er ordet med tiden blevet betegnelsen for et bakkedrag eller blot en banke af flyvesand, og idet flyvesandet er blevet den væsentligste opbyggende bestanddel i en klit, kan ordet nu også bruges om et flyvesandsområde, f.eks. Skallerup Klit.

Vi vil i det følgende bruge ordet klit i betydningen: en bakke af flyvesand, men vi vil alligevel kort se på begrebsforvirringen. Færdes man i de vestlige Lim-



fjordsegne, møder man flere steder ordet *klit* uden for flyvesandsområderne. Fra Nordmors kendes så berømte steder som Hanklit og Feggeklit, der er massive bakke­drag bestående af moler, smelte­vandsaflejringer og moræneler. Så med mindre nogen direkte kan påvise en kartografisk fejltagelse, vil forfatteren vove den påstand, at ordet klit oprindeligt kun betød bakke­drag, uden skelen til indhold, og først senere er 'bestemmelserne' om indholdet blevet skærpet, hvorved oprindelige navngivne klitter falder uden for definitionen.

#### Rubjerg Kirke og Rubjerg Fyr

Gennem de sidste 400 år har sandflugten generet området mellem Løkken og Lønstrup, ja nærmest hele Vendsyssels kystområde. De mest berømte klitter er milerne på Skagen-halvøen nord for Hirtshals. Klitten oven på Rubjerg Klint er en af de mest markante i området, da den ligger så højt i landskabet (Fig. 3). Den helt specielle historie, som knytter sig til fyret på Rubjerg Knude og til Rubjerg gamle kirke, giver et godt billede af livsforholdene i et sandflugsområde.

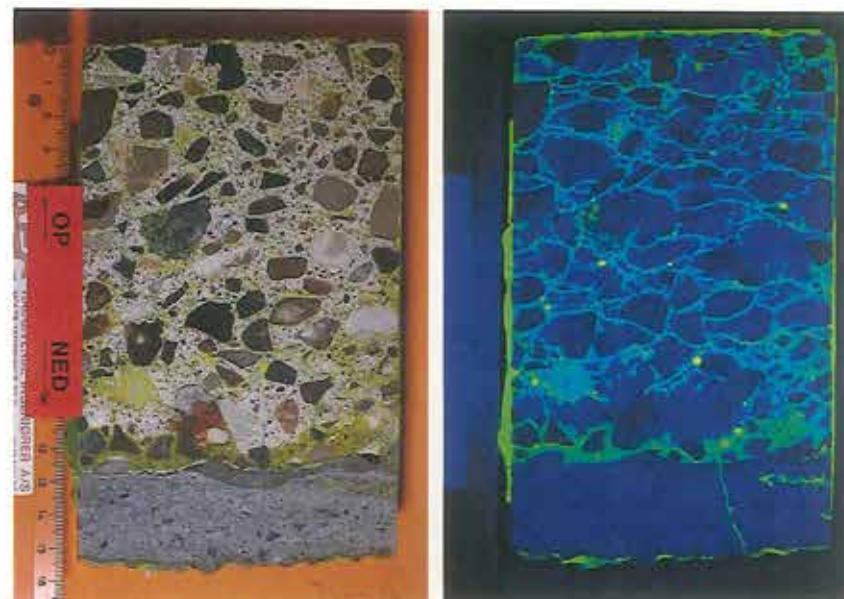


Figur 3. Rubjerg gamle kirkegård. I baggrunden ses klitten, der bygger op foran Rubjerg Knude fyr. Sandfygning ses fra toppen af klitten.

Da Johanne Sørensdatter i 1903 blev stedt til hvile på Rubjerg kirkegård, var spørgsmålet om kirkens fremtid et sprængfyldt og problemladet emne. Skulle man blive ved med at skovle driver af sand væk fra kirkens mure og gravsteder? Den vestre del af kirkegårdsdiget var allerede sandet så meget til, at man havde opgivet at holde det fri. Enkelte så i ånden, hvordan også Johannes grav stod i fare for at blive gemt og glemt temmelig snart, men man kunne jo ikke blive ved. Ressourcerne var små, og kirken var truet.

af betonen ses disse udvaskede komponenter som kalkskorper, der minder meget om kildekalk, der dannes i områder med kalkholdige lag i undergrunden. Fænomenet kan også optræde som drypstenslignende udfældninger, stalaktitter. På undersiden af betontag er der således observeret stalaktitter på op til en halv meters længde, dannet af udludet cementpasta fra betontaget.

Portlanditen ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) er lettest at opløse, og specielt i koldt og blødt vand. Fortsætter udludningen vil dog også calcium-silikat-hydrat (C-S-H), der er betonens egentlige bindemiddel, blive nedbrudt og udludet, undervejs vil også den tungere opløselige ettringit mobiliseres og stedvis udfældes i revner og porer i den vandtrukne beton. Resultatet af denne udludning ses i fig. 5, hvor alle billeder er af samme område af en udludet beton.



Figur 4. Planslib af borekerne af beton fremstilles ved at save kærnen igennem i midterplanet og polere skæresliden. Herefter imprægneres fladen med et farvestof. Til venstre ses kærnen i almindeligt lys, til højre i ultraviolet lys, hvor farvestoffet får revnebilledet til at træde tydeligt frem.

Undersøgelser af tyndslidsbilleder, som det er vist i fig. 5, kan give en række vigtige oplysninger om mekanismerne ved nedbrydningen af betonen. Den lave pastatæthed står i kontrast til det høje indhold af hydratiseringsproduktet CH, idet man fra hydratiseringsreaktionerne ville forvente, at et højt indhold af





Figur 3. Udboring af betonkjerne til undersøgelse af skadesramt beton.

del af betonen, der rent faktisk består af små hulrum, og derigennem få et mål for betonens tæthed. Hvis sådanne observationer udbygges med en punkttælling af betonens forskellige bestanddele, kan man ved at bruge nogle passende formler beregne betonens trykstyrke, der er en vigtig parameter for ingeniøren.

På betonoverflader er de almindeligste skadetegn revner, afskalning, smuldrende overflader og 'kalkgardiner'. På grund af deres geometriske fordeling kan en del sprækker direkte tilskrives spændinger i betonen, men andre skader kan ikke umiddelbart forklares på denne måde og må derfor undersøges nøjere. Med nogen træning i at se på betonskader er det ikke vanskeligt at beskrive omfanget af en skade og give en forklaring på årsagen, men derfra, og så til hvad der videre skal gøres for at udbedre skaden, er der et stykke vej. Det kræver derfor et nært samarbejde mellem geolog og ingeniør for at de kan forstå hinanden, og for at udbedringen af en opstået skade kan gennemføres på en både tilfredsstillende og forsvarlig måde.

#### PASTAUDLUDNING I BETON

En almindelig skadevirkning på beton i forbindelse med revnedannelse er *pasta-udludning*. Får vand mulighed for at trænge ned igennem beton, vil det opløse dele af cementpastaen og betyde, at betonens styrke nedsættes. På overfladen

Endelig besluttede et flertal i sogne- og menighedsråd at flytte kirken. Man tog de bedste sten med fra den gamle kullede kirke og flyttede til Rubjerg. Her boede alligevel de fleste bønder, altså en mere central beliggenhed end derude ved klitten, hvor flere folk havde forladt deres gård i armod. Sandflugten havde taget deres eksistensgrundlag, og efter sandflugten kom kysterosionen og tog resten. Jorden styrtede i det skummende hav i løbet af en generation.

Men på trods af, at man inden for en overskuelig årrække ville være modne til at flytte kirken på grund af sandflugt, og på trods af at de lokale fiskere ikke var vildt begejstrede for ideen, lykkedes det fremskridtsivrige folk at få rejst et fyrtårn oven på Rubjerg Knude, det var i året 1900. Materialerne blev møjsommeligt transporteret ud til den høje klint, der med sine 50 meter stejle skrænt var et vildt og voldsomt sceneri.

Det var op ad denne skrænt søfolkene fra fregatten *Crescent* forsøgte at kravle i en stormfuld efterårsnat i 1812, mens befolkningen stod og så til. Intet kunne man gøre. Skrænten var som brun sæbe på grund af det våde, smattede ler. Når de halvdøde søfolk kom ind til kysten og prøvede at kravle op ad skrænten, gled de uden at kunne få fodfæste på det fedtede ler tilbage i brændingens frådende knusemaskine.



Figur 4. Rubjerg Knude set ude fra havsiden i magsvej. Den mørke linie ca. 1/3 nede under nuværende overflade angiver grænsen mellem klint og klit, over linien består aflejringerne af flyvesand.

Men for at sikre søens folk skulle her nu i 1900 bygges et fyrtårn. Allerede mens fundamentet blev støbt, havde man problemer med sandet. En del af mandskabet måtte konstant gå og skovle sand væk. Klitterne på Rubjerg Knude var på den tid ikke mere end 10 meter høje. Men efter tårnet var bygget, voksede klitten i de kommende 50 år til næsten 40 meters højde - lige foran fyret! Det blev for meget, lyset fra fyret kunne simpelthen ikke nå ud over klitten.

Da geodæterne efter krigen målte området op, kunne de fastslå, at det højeste punkt ved Rubjerg Knude nu var 90 meter over havet. Disse 90 meter omfatter ca. 50 meter klintprofil og ca. 40 meter klit opbygget af flyvesand, de sidste 40 meter inden for ca. 50 år.

Endelig i 1956 nedlagde man fyret - Decca navigation, radar og ekkolodning gjorde fyrets funktion unødvendig for den store skibstrafik. Og de små både var ligeglade, for de kunne alligevel ikke se fyrets lys tæt ved kysten. Fyrbygningen står endnu, og i 1980 blev en museumsudstilling om sandflugt opbygget (under Vendsyssel Museum) i de tomme maskinhaller under fyret (Fig. 5).

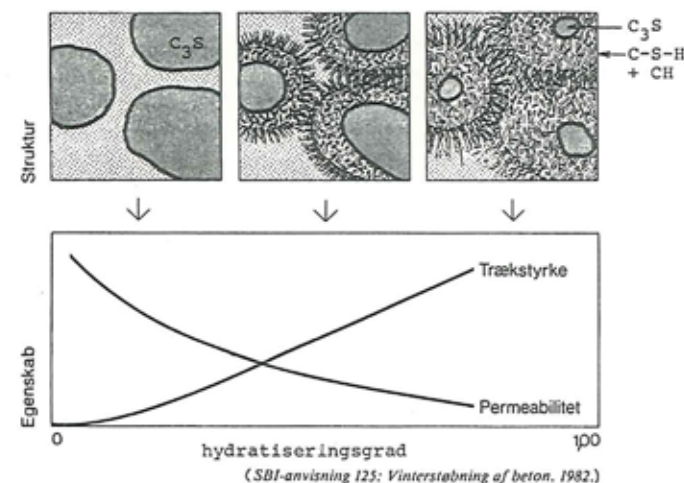


Figur 5. Klitterne ligger helt ind over dørtrinet ved indgangen til sandflugtmuseet i maskinhuset under Rubjerg Fyr.

#### Den geologiske historie

Hvordan hænger nu denne dynamiske landskabsdannelse sammen med den geologiske opbygning? For rigtigt at kunne forstå dette må vi fortælle Vendsyssel's geologiske historie tilbage fra istiden og frem til det sidste sandskorn bliver lagt på toppen af Rubjerg klit. Inden vi går i gang med fortællingen ved ran-

geret med vand og dannet cementpasta, jo stærkere er betonen, og jo mindre er dens gennemtrængelighed (permeabilitet) for eksempelvis regnvand, salte og lignende.



Figur 2. Sammenhængen mellem betonens sammensætning, struktur og trækstyrke i forhold til hydratiseringsgraden, der bl.a. er tidsafhængig (se fig. 1). Med den fortsatte udvikling af C-S-H fibre aftager permeabiliteten (gennemtrængeligheden).

#### UNDERSØGELSER AF SKADESRAMT BETON

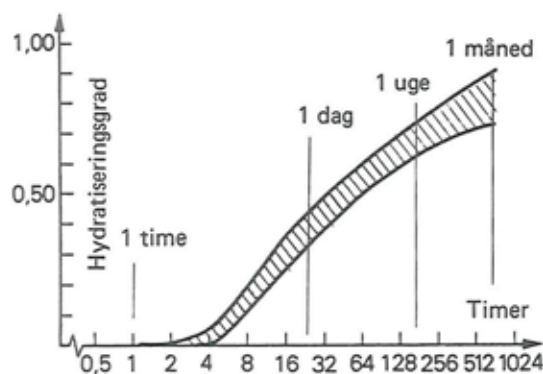
En betonpetrografisk undersøgelse starter i praksis altid med at bore en kærne ud af den beton, der skal undersøges (fig. 3). Efter udboringen af prøven behandles den på forskellig måde afhængigt af, hvad man er interesseret i at undersøge.

I betonpetrografi arbejdes der altid med fluorescein-imprægnerede polerede skiver og tyndslib (fig. 4). Den udborede kærne imprægneres først med en lim tilsat et fluorescerende farvestof, hvilket medfører at selv revner, der er for små og for fine til at kunne ses i et oversigtsmikroskop, vil lyse op, når den imprægnerede skive belyses med ultraviolet lys. Det samme gør sig gældende ved undersøgelser af tyndslib af beton, hvor farvestoffet trænger ind i blandt andet porer, der er under polarisationsmikroskopets opløsningssevne. Ser man derfor på beton i tyndslib med ultraviolet lys, vil man tydeligt kunne se, hvor stor en



Disse reaktioner er ikke lige hurtige. Reaktion (3) er således en meget hurtig reaktion i forhold til reaktion (1), medens reaktion (2) er en meget langsom reaktion.

Ved de to første reaktioner, (1) og (2), reagerer  $C_3S$  og  $C_2S$  med H (vand) og danner den kemiske forbindelse calcium-silikat-hydrat (C-S-H i vor cementnomenklatur) og mineralet portlandit ( $Ca(OH)_2$  eller CH). C-S-H danner et overfladelag af nåleformede, amorf fibre på klinkerkomponenterne, og det er sammenvævningen af disse overfladelag af C-S-H, der udgør bindemiddelstrukturen, cementgelen i betonen. Medens de enkelte C-S-H fibre er alt for små til at kunne ses i et petrografisk mikroskop, så danner portlandit mikroskopiske, sekskantede (hexagonale) flager mellem cementgelens C-S-H fibre.



Figur 1. Dannelsen af betonens bindemiddel, cementpastaen, sker ikke i løbet af en enkelt nat. Hydratiseringen af klinkerkomponenterne foregår over længere tid, og selv efter 1 måned er kun godt 80 % af cementpastaen blevet færdigdannet.

Ved den tredje reaktion, (3), reagerer  $C_3A$  med gips ( $CSH_2$ , eller som det mere normalt skrives  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) og danner den såkaldte Aft-fase. Denne fase ligner meget mineralet ettringit ( $C_3A \cdot 3CSH_2$ ), og er jævnt fordelt i cementpastaen som submikroskopiske krystaller.

Disse reaktioner mellem klinkerkomponenter og vand, hydratiseringen, står på over et langt tidsrum, så beton er ikke et fikst og færdigt produkt, men ændrer sig med alderen (fig. 1). Fordi de tre reaktioner mellem klinkerkomponenterne og vand ikke forløber lige hurtigt, vil sammensætningen af bindemidlet i betonen, cementpastaen, ændre sig med tiden. Der vil således selv i meget gamle (f. eks. 50 år) cementpastaer være uhydratiserede klinkerkomponenter tilbage. Forholdet mellem klinkerkomponenterne vil dog have ændret sig, således at der fra at være en overvægt af  $C_3S$  i unge betoner, vil være mere  $C_2S$  sammen med grove  $C_3S$ -korn i gamle betoner.

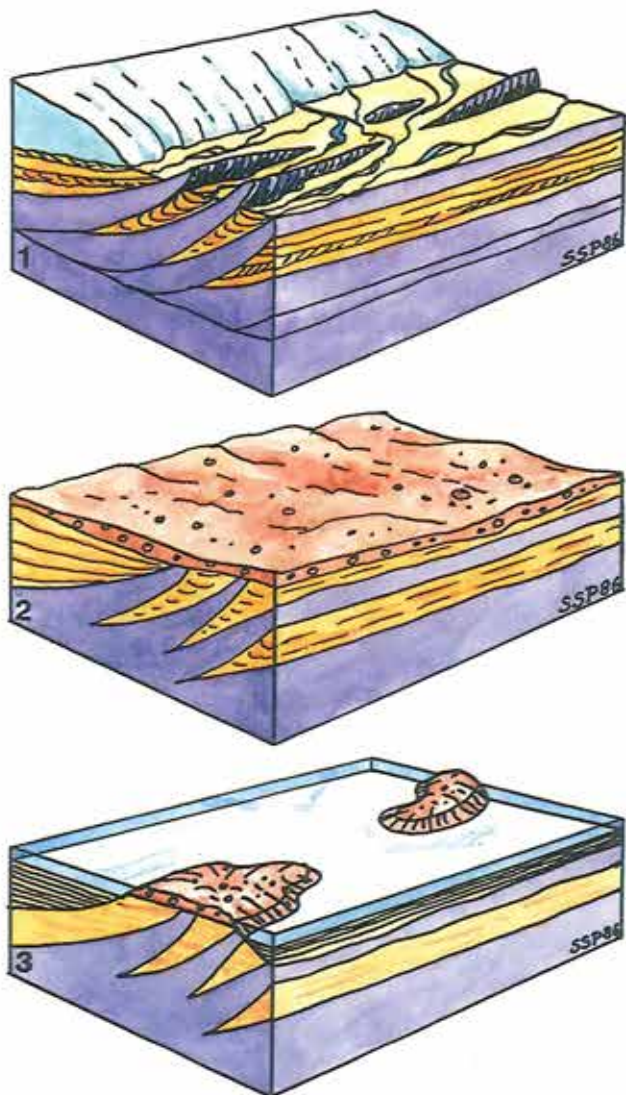
Egenskaberne ved beton er i høj grad et resultat af klinkerkomponenternes grad af hydratisering (fig. 2). Jo større en del af klinkerkomponenterne der har rea-

den af det skandinaviske isskjold, da det for ca. 25 - 30.000 år siden når frem til Nordjylland, er det værd at bemærke, at Vendsyssel er en slags 'typeområde' for isostatisk hævn i Danmark. Da isskjoldet endelig smelter bort, hæver Nordjylland sig, og aflejringerne afsat i havet omkring Vendsyssels gamle ør bliver efter istiden gradvis hævet op over bølgerne, så vi kan aflæse den geologiske historie i klintprofilerne.

Men lad os starte tilbage i sidste mellemistid, Eem-tiden for omkring 100.000 år siden. På den tid var det nuværende Nordjylland dækket af et hav, der blev koldere og koldere i tiden frem mod sidste istid, Weichsel. I havet aflejredes ler, det såkaldte *Ældre Yoldialer*, opkaldt efter en musling, der levede på bunden af det kolde hav, *Portlandia arctica*, tidligere med navnet *Yoldia arctica*. Efterhånden som vandet blev koldere og isranden kom nærmere, den stod sandsynligvis og kævede midt i Skagerrak, kunne muslingerne ikke trives længere. Smelte-vandet fra isen gjorde vandet for brakt for de saltvandselskende muslinger, og desuden blev vandet for 'plumret' af det ler og finsand, der fulgte med smelte-vandet. I princippet falder vandstanden også, fordi mere og mere vand bliver bundet i iskappen, men da den samtidig trykker underlaget ned, er det vanskeligt at vide, præcist hvordan forholdene var. Da isranden kommer nærmere, afsættes der issøler i et fladt fjordområde, der måske har haft terrænforhold, som vi kender dem i dag fra Ringkøbing Fjord. Dette issøler, der i de ældre beskrivelser betegnes som 'diluvialler' (Syndflodsler), ses i profilerne som lag med vekslende farver fra det rødligbrune til blålige og gråviolet lag, stedvis med finsandede indslag, der er grågule, og som ofte viser interne strukturer i form af små strømribber. Senere belastning har medført, at disse lag tit er blevet deformeret til sæk- og pudestrukturer, som er omtalt i Varv 1984-4.

Efter afsætningen af issøleret skrider isen hen over området. Ved isens pres og fremadrettede tryk opstår der sprækkedannelser i leret, også hjulpet af trykket fra det indespærrede porevand i sedimenterne. Derpå blev lerlagene brudt i stykker og presset op som store flager, der glider langs buedeformede forskydningsplaner. Tættest ved isranden ligger disse glideplaner næsten vandrette, mens de længere væk fra isranden bliver stejle og stejle (Fig. 6). De flager, som først er skubbet op, er med til - sammen med isens vægt - at trykke ned på underlaget og få nye flager presset op under sig og foran sig. De vandmættede sedimenter bliver ustabile under trykket, der dannes sæk- og pudestrukturer og vandundvigelsesstrukturer, og hist og her skubber det mobile mudder sig op gennem de øvre lag og danner svampeformede strukturer, intrusive diapirer, der kan være op til 10 meter i størrelse. Imellem flagerne strømmer smelte-vandet bort fra isranden i et mylder af floder. Heri afsættes det mere grovkornede sand med sit indhold af både tungsand og de berømte ravpindelag. Det er fra disse lag, de gyldne ravklumper kommer, som man efter efter stormvejr finder i havstokken ved Rubjerg Knude.





Figur 6. Blokdiagrammer, der viser den geologiske udvikling af Rubjerg Knude. (1) Under isens fremrykning dannes skovl-formede forkastninger, langs hvilke opskydningen af flagerne finder sted. (2) Isen smelter bort og efterlader et udjævnet morænelandskab. (3) Havniveau stiger, og kun de højeste morænepartier rager op som øer i det Yngre Yoldiahav. På bunden aflejres Saxicavasand.

**Portland cement.** De cement-typer, der anvendes i Danmark, går under fællesbetegnelsen Portland cement, et navn de har fået på grund af den store lighed den hærtnede cement har med *Portland stone*, en kalkholdig sammenkittet sandsten fra perioden Øvre Jura i Dorset i England, hvor den er en yndet facadesten.

Portland cement fremstilles ved at brænde en fin-formalet og homogeniseret blanding af kalk og ler. Brændingen foregår ved så høje temperaturer, at der sker en delvis opsmeltning af materialet, hvorved de såkaldte klinker-komponenter dannes. Efter afkøling tilsættes dette produkt så under ny formaling nogle procent gips.

Portland cement kan variere meget i sammensætning, men indeholder altid de 4 klinkerkomponenter, der er opgivet i nedenstående tabel:

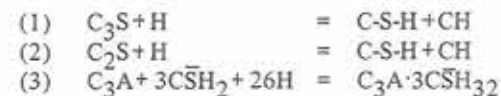
| Klinkerkomponent           | Kemisk formel                                    | Cement nomenklatur    | Indhold i vægt-% |
|----------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------|------------------|
| Tricalcium silikat         | $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$                        | $\text{C}_3\text{S}$  | 52 - 83          |
| Dicalcium silikat          | $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$                        | $\text{C}_2\text{S}$  | 5 - 30           |
| Tricalcium aluminat        | $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$               | $\text{C}_3\text{A}$  | 0 - 9            |
| Tetracalcium aluminoferrit | $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$ | $\text{C}_4\text{AF}$ | 0 - 11           |

I cement-nomenklaturen angives den kemiske sammensætning af klinkerkomponenterne som summen af de oxider, der indgår i dem, hvor C = CaO, S =  $\text{SiO}_2$ , A =  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\bar{\text{S}}$  =  $\text{SO}_3$ , F =  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , og H =  $\text{H}_2\text{O}$ . Eksempelvis skrives tricalcium silikat som  $\text{C}_3\text{S}$ , nemlig  $3\text{CaO} \cdot 1\text{SiO}_2$ , hvilket giver  $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ .

For nemheds skyld vil vi i denne artikel benytte cement nomenklaturen for klinkerkomponenterne. Medens de 3 øverste klinkerkomponenter i tabellen er kemiske forbindelser med en fast krystalstruktur i lighed med mineraler, er den sidste,  $\text{C}_4\text{AF}$ , en såkaldt fast opløsning, hvor forholdet mellem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  og  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  kan variere inden for visse grænser.

#### CEMENT-HYDRATISERING

Når vore klinkerkomponenter reagerer med vand, optager de vand, hydratiserer, og danner nye forbindelser. Denne hydratisering sker efter følgende forenklede reaktioner, hvor bogstaverne repræsenterer oxiderne fra tabellen:





# SKADESRAMT BETON GEOLOGISK SET



af Jørn Bredal-Jørgensen

Sten, sand, grus og ler er noget af det, der umiddelbart falder mange ind, når talen er om geologers arbejdsfelter. Og rigtigt er det da også, at et traditionelt og vigtigt arbejdsområde for geologer i Danmark er kortlægningen af disse råstoffers udbredelse. Det er derimod nok mindre velkendt, at anvendelsen af disse råstoffer til fremstilling af materialer som cement og beton, og undersøgelser af de skader der opstår i dem, også er blevet et felt, hvor geologers viden og arbejdsmetoder indenfor de senere år har vundet indpas.

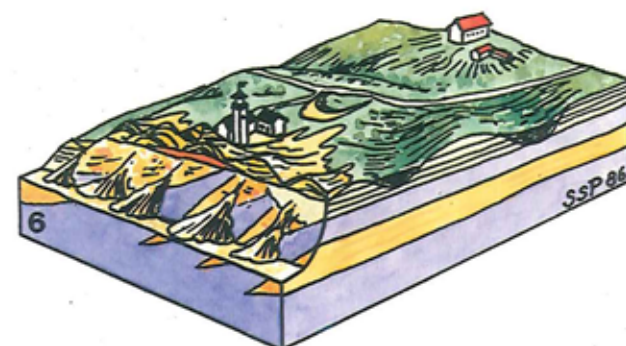
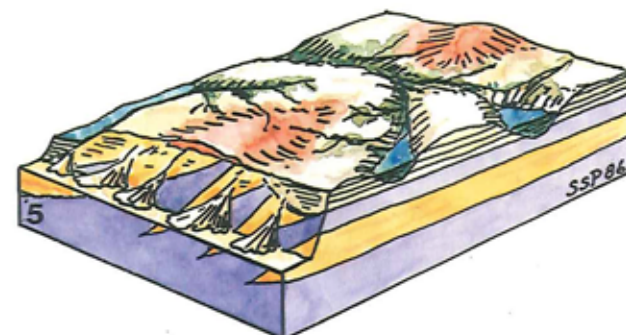
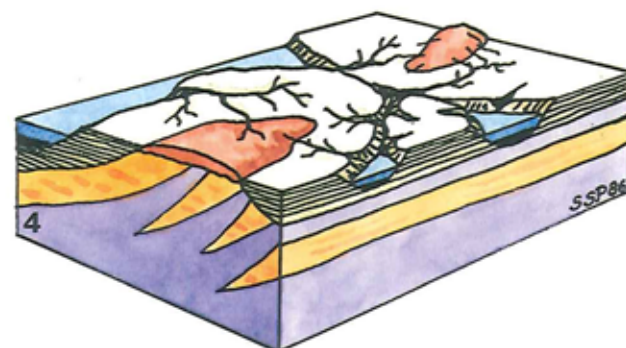
Jeg vil i denne artikel introducere det geologiske arbejdsområde, som cement og beton faktisk er, samt give nogle eksempler på anvendelsen af geologiske arbejdsmetoder til undersøgelser af skadesramt beton.

Indenfor geologien har undersøgelser af bjergarters mineralindhold og hele struktur ved hjælp af mikroskop, den såkaldte petrografiske undersøgelse, mere end 150 år på bagen og var faktisk noget af det første mikroskopet blev anvendt til. Petrografiske undersøgelser af beton i Danmark er sammenlignet hermed noget af en årsunge.

I Danmark begyndte petrografiske undersøgelser af beton først i 50'erne, da udsatte betonbygværker begyndte at vise udbredt tegn på nedbrydning. Et nedsat Alkaliudvalg gennemførte i perioden 1954-64 et omfattende grundlæggende arbejde over beton, bl.a. ved hjælp af petrografiske metoder, men det var dog først i 70'erne, at betonpetrografi blev anerkendt som et uundværligt hjælpemiddel til vurderingen af skadesramt beton, og indgik i egentlige skadesundersøgelser af beton ved hjælp af tyndslib ved Teknologisk Institut. Siden da har metoden bredt sig og er blevet gradvis udbygget, og der findes nu flere private og offentlige laboratorier i Danmark, der rutinemæssigt anvender geologiske arbejdsmetoder og -redskaber, herunder petrografi, til undersøgelser af beton.

## CEMENT OG BETON

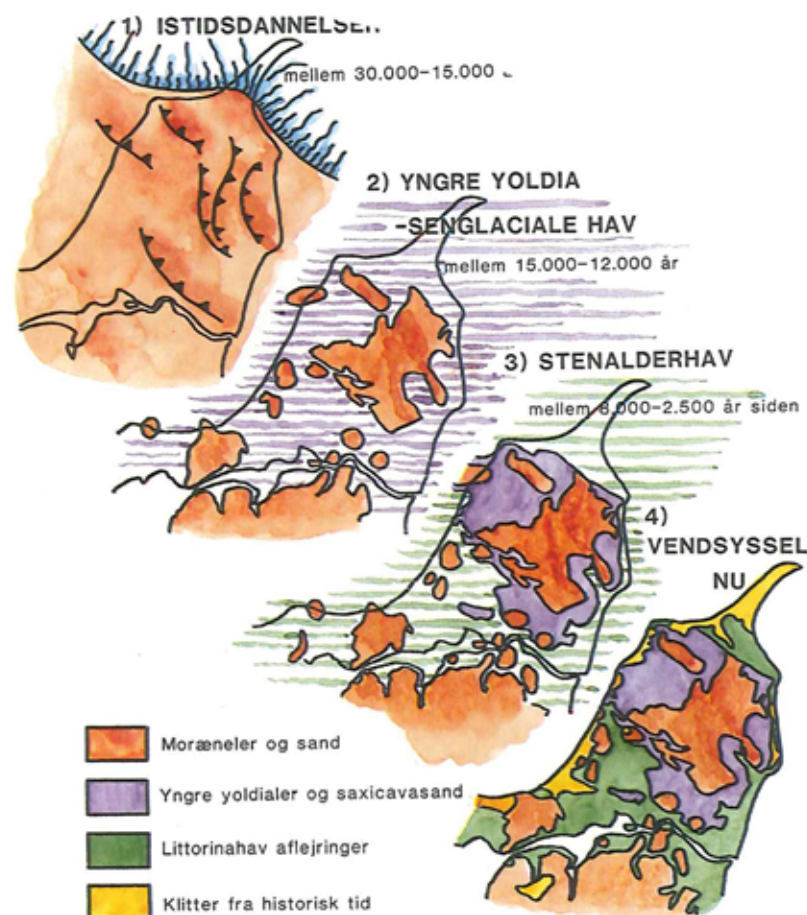
Beton er et sammensat materiale, der fremstilles ved at blande cement med vand og sand og sten. Når cement blandes med vand reagerer den med det, hydratiserer, og danner det bindemiddel, cementpastaen, der kitter tilslagsmaterialerne, sand og sten, sammen.



tæt ved kysten og Yngre Yoldialer på lidt dybere vand. (4) Ved landhævnningen stiger Yoldiahavets gamle havbund op over overfladen, og der dannes erosionskløfter. Senere udformes kystskrænter i Yoldiaaflejringerne og i morænen af Littorinahavet. (5) Landhævnningen fortsætter, og Littorinahavets aflejringer stiger op over havniveau. Vesterhavet gnaver sig ind i kysten, hvor sand og ler skrider ned af klinterne. (6) Rubjerg Fyr er bygget og sandflugten danner klitten op oven på klinten. Fyret er ved at blive begravet i sand.



Da flagerne af ler og sand er blevet skubbet op, skrider isen hen over det hele, og når frem mod syd til den såkaldte Hovedstilstandslinie syd for Limfjorden. Ved isoverskridelsen bliver toppen af flagestrukturerne i Rubjerg Knude høvet af, og samtidig aflejres moræneler med sten transporteret hertil fra de norske fjelde.



Figur 7. Den geologiske udvikling af Vendsyssel.

Ved isens bortsmeltning i slutningen af sidste istid fremkommer der et uensartet morænelandskab i det nuværende Vendsyssel (Fig. 6 og 7). Vind og vejr angriber det stenede moræneler, så kun stenene ligger tilbage på den afhøvlede flade - ler og sand er skyllet eller blæst bort.

#### Sydfyns Stenklub

Johannes Theilmann, Heldagervej 43, 5700 Svendborg

Tlf.: 09-21 31 63

DAGU-Repræsentant: Johannes Theilmann

#### Stenklubben for Randers og omegn

Jytte Hillersborg, Lundbergvej 3, Værum, 8900 Randers

Tlf.: 06-44 51 98

DAGU-Repræsentant: Jytte Hillersborg

#### Den Syd-Østjyske Stenklub

Werner Layes, Mazantigade 18, 6000 Kolding

Tlf.: 05-53 97 02

DAGU-Repræsentant: Arne Jæger Nielsen, Vifdam 51, 6000 Kolding

Tlf.: 05-52 95 46

#### Horsens Stenforening

Knud Rosenkjær Hansen, Symfonialle 62, 8700 Horsens

Tlf.: 05-62 79 64

DAGU-Repræsentant: Karen Sodemann, Hestehavevej 2 D, 8270 Højby

Tlf.: 06-27 58 96

#### Bornholms Stenklub

Tonny Christensen, Dyndebvej 4, 3730 Nekso

Tlf.: 03-75 02 81

DAGU-Repræsentant: Tonny Christensen

#### Sydvestsjællands amatørgeologiske Forening

Poul Pedersen, Æblevej 18, Skelby, 4160 Herlufmagle

Tlf.: 03-75 02 81

DAGU-Repræsentant: Gunnar Hansen, Vedskøllevej 115, 4230 Skælskør

Tlf.: 03-58 90 31

#### Faxe geologigruppe under Faxe Museum

Alice Rasmussen, Vindbyholtvej 6, 4640 Faxe

Tlf.: 03-82 50 99

DAGU-Repræsentant: Alice Rasmussen

#### Møns amatørgeologiske Forening, MAF

Palle Borch, Sømarkevej 19, 4791 Borre

Tlf.: 03-81 20 24

#### Stenklubben Flinten

Mogens Kofoed, Idræts Alle 10, 6760 Ribe

Tlf.: 05-42 09 19

#### Foreningen 'Fynske Fossilsamlere'

Johannes Vang, Møllegårdsvej 4, 5882 Vejstrup

Tlf.: 09-23 13 08

#### Lolland-Falster gemmo-geologiske Forening 'Skærven'

Adolf Majehrik, Birketvej 19, 4930 Maribo

Tlf.: 03-88 83 82



# STENKLUBBER

Redaktionen har modtaget en lang række henvendelser fra stenklubber fra det meste af landet, og herunder bringer vi den modtagne fortegnelse med angivelse af kontaktpersoner, for det meste er de klubbers respektive formænd. Ved 10 af de 17 klubber er yderligere tilføjet en DAGU-Repræsentant, - om DAGU (Dansk Amatørgeologisk Union) er der en notits på side 111.

Fordelingen af stenklubber (skønnet ud fra kontaktpersonernes/formændenes bopæl) synes i øvrigt at vise, at i områder med mere end 90 % norske ledeblokke (især larvikt og rhombeporfyrrer) er der ingen stenklubber !!!! - bedømt ud fra Vilhelm Milthers doktordisputats om skandinaviske ledeblokke i 1909. Nå, det kan vel også være en tilfældighed, og skulle nogle få lyst til at starte en klub, er der sikkert gode råd og vejledning at hente hos de allerede etablerede klubber.



Den Fynske Stenklub, Fyns amatørgeologiske Forening, Odense  
Ebbe Møhring Madsen, Primulavej 27, 5000 Odense C. Tlf.: 09-11 14 73  
DAGU-Repræsentant: Mette Rask, Sankt Klemens Vej 61, 5260 Odense S  
Tlf.: 09-15 09 55

Stenvenner, Københavns amatørgeologiske Forening, København  
Inger Bohn, Skellet 1, 2600 Glostrup Tlf.: 02-45 15 23  
DAGU-Repræsentant: Inger Bohn

Jysk Stenklub, Amatørgeologisk Forening, Århus  
Jon Svane, Skejbyvej 36, 8240 Risskov Tlf.: 06-21 06 06  
DAGU-Repræsentant: Jon Svane

Vestjysk Stenklub  
Rudolf Stougaard, Markvænget 14, Ullits, 9640 Farsø Tlf.: 08-63 41 20

Syd-Vestjysk amatørgeologisk Forening  
Peter Rasmussen, Vejskillingen 28, 6950 Ringkøbing Tlf.: 07-32 14 34

Stenklubben Als, Als amatørgeologisk Forening  
Holger Jørgensen, Primulavej 3 B, 6400 Sønderborg Tlf.: 04-43 01 07

Da iskappens vægt blev fjernet, begyndte den isostatisk hævning, men denne landhævning er dog ikke så hurtig, som den havstigning, der er resultat af isens borts melting. Derfor bliver Vendsyssel først dækket af et hav, hvor kun de højeste morænebakker rager op som øer. Dette senglaciale hav (for ca. 15.000 - 12.000 år siden) kaldes det *Yngre Yoldiahav*. Også i disse aflejringer finder man skaller efter muslingen *Portlandia arctica*. Både nord og syd for Rubjerg Knude ligger der aflejringer fra dette yngre Yoldiahav (Fig. 8) - og bagsiden.



Figur 8. Det fint lagdelte Saxicavasand ligger vandret hen over de opskudte skiver af smeltevandsler og -sand i Lønstrup Klint profilet ca. 1 km nord for Nørre Lyngby. Sammenlign med fig. 6 (5).

Umiddelbart nord for Mårup Kirke og i klinten lige nord for vejen til stranden ved Nørre Lyngby ses meget smukke, lodrette gravespor efter muslingen *Hiattella*. Ved kortlægningen af Vendsyssel for snart 100 år siden, kaldtes denne musling *Saxicava*, hvorfor sandaflejringerne blev opkaldt herefter. Siden har det imidlertid vist sig, at *Saxicava* hørte til slægten *Hiattella*, men sandet har bevaret sit gamle trivialnavn Saxicava-sand ligesom vi stadigvæk taler om Yoldia-ler, selv om muslingen i dag hedder *Portlandia*.

Det er ikke sjældent at finde *Hiattella*-muslingens skaller i 'livsstilling', det vil sige, at begge skaller sidder lodret sammen i bunden af et 'rør'. Men man kan også finde mængder af dem i det nedskredne ler og finsand ved klintens fod. Opskyllet på stranden kan man ikke være helt sikker på, at det er gamle skaller.



Nyere undersøgelser synes at vise, at *Hiatella* også i dag lever i vandene uden for Lønstrup Klint.

Grunden til at skallerne i dag kan findes højt i klinten hænger sammen med, at den gamle havbund er blevet hævet i takt med det skandinaviske grundfjeld siden isens afsmeltning (Fig. 9). Mod syd klinger hævningsen ud omtrent ved Ringkøbing Fjord, hvorfra 'nul-linien' har retning mod sydøst til Møn. Vidnesbyrd om den højeste landhævning i Danmark findes omkring Hjørring (Fig. 10). Selve Hjørring ligger på et 'bjerg' af gammelt morænesand. Nord for bykernen ligger toppen af Udsigtsbakken i 53 meters højde. På denne top findes Yoldia'er, altså havaflejringer fra det senglaciale hav. Vi kan endda lægge et par meter på, hvis vi tager op til Vinstrup Bjerg (Fig. 10) et par kilometer nord for Hjørring. Her, hvor bakketoppen ligger i kote 60 m over havet, findes også spor af Yoldiahavets aflejringer.



Figur 9. Hævede strandvoldstrygge på kysten ved Porsanger Fjord i Nordnorge. Hvert af 'trappetrinene' op ad skråningen svarer til en strandzone, der ved den fortsatte isostatiske hævnings løftedes fri af vandoverfladen.

Det, at vi finder Yoldia-havets niveau endnu højere nord for Hjørring, er betinget af, at strandlinien stiger konstant mod nord, nemlig med en rate på 0,8 meter per kilometer. Den relativt store landhævning har medført et stærkt erosionsangreb på det hævede landskab, men de skarptskårne erosionskløfter når alligevel ikke at følge med, så man får et mere moduleret erosionslandskab.

## Anmeldelse:

## RAV —

Frants Kristensen: RAV - FRA HARPIKS TIL SMYKKE. Høst & Søn's Forlag, 120 sider, illustreret, indbundet, pris: 198 kr.

I sommer udkom på dansk en ny bog om rav skrevet af fisker og ravsliber Frants Kristensen fra Skagen. Bogen er vel blandt de mere omfangsrige på dansk om rav, der fascinerer de fleste af os. Bogen er velskrevet og indeholder samtidig en lang række spændende og interessante oplysninger, som kan være til gavn og glæde for både historikeren og naturhistorikeren.

Indledningsvis berettes om de tertiære ravskove med harpiksproduktion og om ravets fysiske egenskaber og kemiske bestanddele. Herunder fortælles der bl.a. om, hvorledes man ved en række simple prøver, selv kan finde ud af, om det er rav eller ikke rav, for specielt efter plasticindustriens opblomstring har det ikke skortet på efterligninger, nogle så gode, at det er vanskeligt at se forskel, både i materialet og på prisen.

Rav kan naturligvis købes, men det er nu mere spændende at finde det selv, og hvordan man gør det, giver bogen også anvisninger på. Det er en selvfølge, at de helt præcise findesteder ikke er nævnt (sådan er vi ravsamlere), men der anføres områder, f. eks. Rubjerg Knude (siderne her foran), hvor rav let kan findes.

Den geologiske udvikling i Danmark har ført til, at de største samlede forekomster ofte opdages ved anlægsarbejder. I bogen nævnes Linfjordstunellen som et af de steder, hvor der blev fundet så meget rav, at det var en bedre forretning at samle rav end at arbejde, og det kan tilføjes, at der i forbindelse med kloakudgravninger til omfattende boligbyggerier på Amager i midten af 60'erne blev gjort tilsvarende meget store fund.

Rav kan man have liggende i en skuffe eller i et glas, men da det er let at bearbejde (vore forfædre gjorde det uden elektrisk boremaskine, men med tålmodighed!), er det fristende at prøve selv. Hvordan man kan gøre, der er flere muligheder, beskrives også.

Med sine mange illustrationer, både tegninger og sort-hvide fotos samt 4 sider med farvetavler, og ikke mindst de små indrammede historier om ravfund og ravfindere er bogen meget at anbefale, både til de, der vil vide om forskellen mellem *Gedanit* og *Bekerit* og til de, der vil samle rav til egen perlekæde.

Steen Sjørring



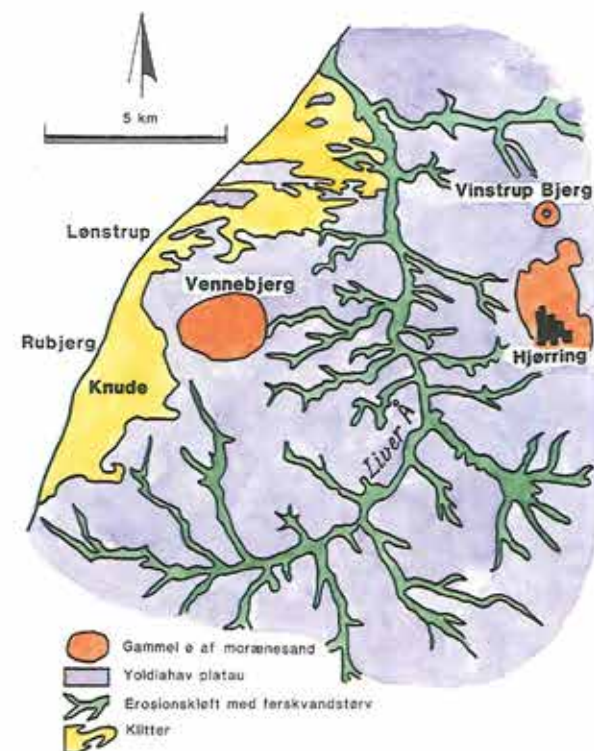


Figur 11. En kun få timer gammel klit på toppen af Rubjerg Knude. Fodspor i den nye klit forsvinder i løbet af minutter på grund af sandfygningen.

en ligger sandet i stejle kegler, parat til at blive ført bort med vinden. Vinden bliver bøjet op ad klinten og bringer sandet med op på plateauet, hvor det aflejres på den afhøvede moræneflade eller på det Yngre Yoldialer og Saxicavasand, eventuelt også på martørvmosen. Processen forstærkes ved, at mere sand kommer til for neden, hver gang klinten og klitten brydes ned for oven.

Vedrørende Rubjerg Knude fyrs fremtid er det klart, at sker der ikke en menneskelig indgriben i de fysiske processer, vil fyret og de omliggende bygninger først blive dækket af klitternes sand. Derpå vil man i løbet af ca. 50 års forløb se det forbavsende syn, at et fyrtårn dukker frem af klitten oven for den stejlt eroderede klint. Og endelig en dag vil tårnet med bygninger skride ned ad skrænten, murbrokkerne vil smuldre og blive skyllet bort af havet. Endnu prøver man at holde sandflugtsmuseet fri for sand, men når ressourcerne ikke strækker længere, vil museet blive begravet i sit eget emne - i sandhed et dynamisk museum !

Endnu ligger den kullede, hvidkalkede Mårup kirke på Yoldiafladen oven for klinten, men det er et spørgsmål, om det vil være muligt at lave en kystsikring, der forhindrer dens forsvinden i havet. Hvis det lykkes at forhindre kysterosionen, kan man til gengæld forvente, at klinten jævnes ud og bliver til en bevokset skrænt, der vil skjule alle de enestående vidhedsbyrd om Rubjerg Knudes geologiske historie.



Figur 10. Kort over Hjørring-Lønstrup området. Bemærk hvordan erosionskloftmønstret (dræningsmønstret) aftegner sig som en halvbue uden om Rubjerg Knude og Vennebjerg 'øerne'. Det er tydeligt, at dræningen er væk fra Rubjerg Knude, selvom kysten her nu ligger meget tættere på, og det viser, at mønstret blev anlagt, da Rubjerg Knude 'øen' strakte sig meget længere mod vest.

I Vendsyssel ser man et tidligt stadium af et erosionskloft-mønster, der er udformet i et fladtliggende hævet landskab af Saxicavasand og Yoldialer (Fig. 10), men for omkring 8.000 år siden steg havniveauet kraftigt, måske helt op til 30 meter i forhold til daværende havspejl, såvidt man kan bedømme ud fra studiet af snegle og muslinger i dette hav, Littorinahavet, opkaldt efter den almindelige strandsnegl, *Littorina*, (Fig. 11), som også lever ved vore kyster i dag. Dateringer af muslinger fra forskellige steder i landet fundet i forskellige niveauer fra Littorinahavets aflejringer viser en jævnt aftagende landhævningskurve frem til vor tid. Området omkring Frederikshavn og Læsø falder dog uden for dette mønster, da der stadig sker bevægelser langs den Fennoskandiske Randzone.





Figur 11. Strandsneglen *Littorina*, som gav navn til det hævede Stenalderhav, *Littorinahavet*. Strandsneglen er i dag almindelig ved stenede strande.

Årsagen til den store havstigning, der førte til dannelsen af *Littorinahavet* kan være, at både det skandinaviske og det nordamerikanske iskjold gik i opløsning og sendte meget vand tilbage til oceanerne. I Nordamerika er denne afsmeltning for nylig dateret til omkring for 8.000 år siden.

Ved badebyen Løkken findes havaflejringerne fra *Littorinahavet* i et ca. 10 meter højt klintprofil neden for Furreby. Lagene indeholder talrige skaller fra hjertemuslinger og strandsnegle, men der findes også træstammer, som for 6-8.000 år siden væltede ud i den fjordarm, der i dag udgør de aflejringer, vi kan se i profilet.

Vi når nu frem til historisk tid. I Lønstrup Klint profilet ses op til 2 meter tykke lag af martørv ved Martørv Bakker. Martørv er betegnelsen for tørv, man finder tæt ved havet (mar-), men i virkeligheden er det en gammel mose, der er presset sammen og blevet udtørret samtidig med, at kysterrosionen har ædt sig ind i klinten. Mosen ved Martørv Bakker var stadigvæk et vandhul omkring år 1500, men efterhånden som klinten bliver blottet, kommer mosens tørvelag frem, brækker af og ruller ned på stranden. For 100-200 år siden samlede den lokale befolkning de nedstyrtede stykker martørv sammen som et værdifuldt brændselstilskud.

Kysterrosionen er sammen med sandfygningen de mest betydningsfulde dynamiske landskabsprocesser i dag. For 80 år siden foretog statsgeolog A. Jessen en beregning af kysterrosionens hastighed ved at sammenligne Videnskabernes Selskabs kort fra 1793 med Generalstabens kort fra 1886. Han nåede frem til, at kystlinien rykkede mellem 1 meter og 1,5 meter tilbage om året. En lignende beregning har forfatteren foretaget ved at sammenligne Generalstabens kort fra 1886 med Geodætisk Instituts kort fra 1966. Resultaterne ses i tabel I.

| Lokalitet                                                   | afstand<br>i 1886 | afstand<br>i 1966 | tilbage-<br>rykning | erosionsrate<br>meter per år |
|-------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|------------------------------|
| Nr. Lyngby,<br>kirkegårdsdiget                              | 80                | 0                 | 80                  | 1,0                          |
| Gård ved Rubjerg-<br>vej, ca. 50 m nord<br>for Sdr. Rubjerg | 1240              | 1120              | 120                 | 1,5                          |
| Rubjerg gl. kirke                                           | 520               | 450               | 70                  | 0,9                          |
| Stadegård                                                   | 3520              | 3400              | 120                 | 1,5                          |
| Mårup kirke                                                 | 200               | 100               | 100                 | 1,3                          |

Tabel I: Kystens tilbagerykning ved Lønstrup Klint.

Som det fremgår af tabellen er den gennemsnitlige erosionshastighed omkring 1,25 meter om året. Dette vil for de to mest markante bygninger ved Rubjerg Knude - fyret og Mårup kirke -betyde, at de vil styrte i havet omkring år 2050. Prøver vi nu at tilbageskrive kystlinien med samme erosionsrate gennem årene, har Rubjerg Knude 'oen' strakt sig 2-3 km ud i Vesterhavet på det tidspunkt, da *Littorinahavet*s transgression overstiger landhævningen.

Hver dag blæser vinden omkring Rubjerg Knude. Tit virker det som en sandstorm, når man står på toppen af klitten oven for fyret og hverken kan se hav eller klit for sand i øjnene. Når man kommer kørende ad hovedvejen sydfra mod Løkken, ser man tydeligt en fane af lyst sand blæse vandret ud i luften fra toppen af Rubjerg klit (se fig. 2) blot der blæser en frisk Vesterhavsvind. På sådan en dag kan man også undre sig over, hvorfor en så høj klit netop ligger der på den højeste klint langs vestkysten af Nordjylland, men det er faktisk betinget af alle de faktorer, der er omtalt i den geologiske udvikling: Mellem de opskudte skiver af ældre leraflejringer ligger løst smeltevandssand, som ustandselig skrider og glider ned fra klinten (Forsidebilledet og Fig. 4). Ved klintfod-