

Bygningsstenen i Grenåegnens kalkstenskirker

Af Erik Thomsen

1. Indledning

De fleste middelalderlige danske landsbykirker er bygget af teglsten eller af grundfjeldsblokke transporteret til Danmark under istiden. Relativt få kirker er bygget af sten fra den danske undergrund. Blandt disse indtager en gruppe på ni kalkstenskirker på det nordøstlige Djursland en fremtrædende stilling på grund af deres homogenitet med hensyn til byggemateriale, byggeteknik og arkitektonisk udsmykning (1 og 2). Af disse kendetegn vil spørgsmål vedrørende kirkernes byggemateriale blive behandlet i denne artikel.

Første led i undersøgelsen var at lokalisere oprindelsesstedet for den anvendte kalk, og at diskutere mulige transportveje mellem kalkbrud og kirke. Let tilgængelig, højtliggende kalksten findes i et mindre område nord og vest for Grenå (fig. 1). Nogle af kirkerne ligger i dette område og deres bygningsmateriale kan være brudt lokalt. De fleste kirker ligger imidlertid i områder hvor kalken ligger dybt eller er dækket af et tykt morænelag. Bygningsstenen i disse kirker må være fragtet til byggepladsen fra brud indenfor området med højtliggende kalk.

I anden del af undersøgelsen vil den anvendte kalks egnethed som bygningssten blive belyst og herunder vil blive diskuteret, hvorfor de middelalderlige bygmestre foretrak visse former for kalksten fremfor an-

dre. I området med højtliggende kalk findes der nemlig tre vidt forskellige kalkstenstyper, som alle er og var tilgængelige for brydning.

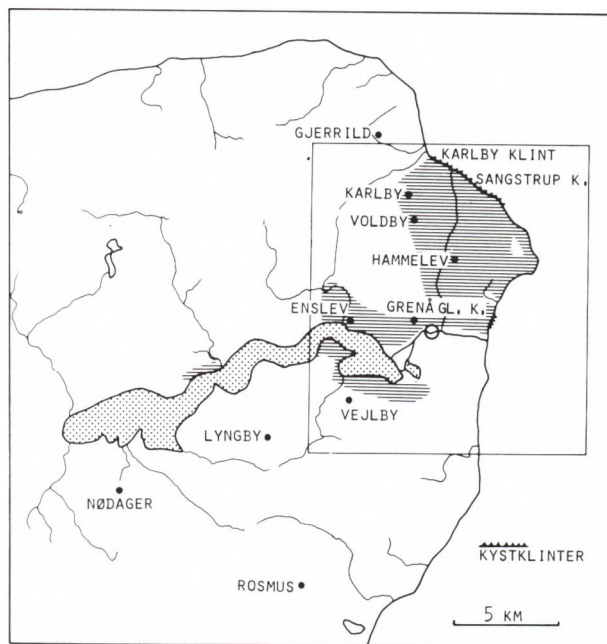


Fig. 1. Kort over nordøst Djursland med Kolindsund og de vigtigste vandløb indtegnet. Kortet viser kalkstenkirkernes placering i forhold til området med højtliggende og let tilgængelig kalksten. Indenfor den indtegnede ramme er undergrundens geologiske formationer kortlagt (se fig. 6).

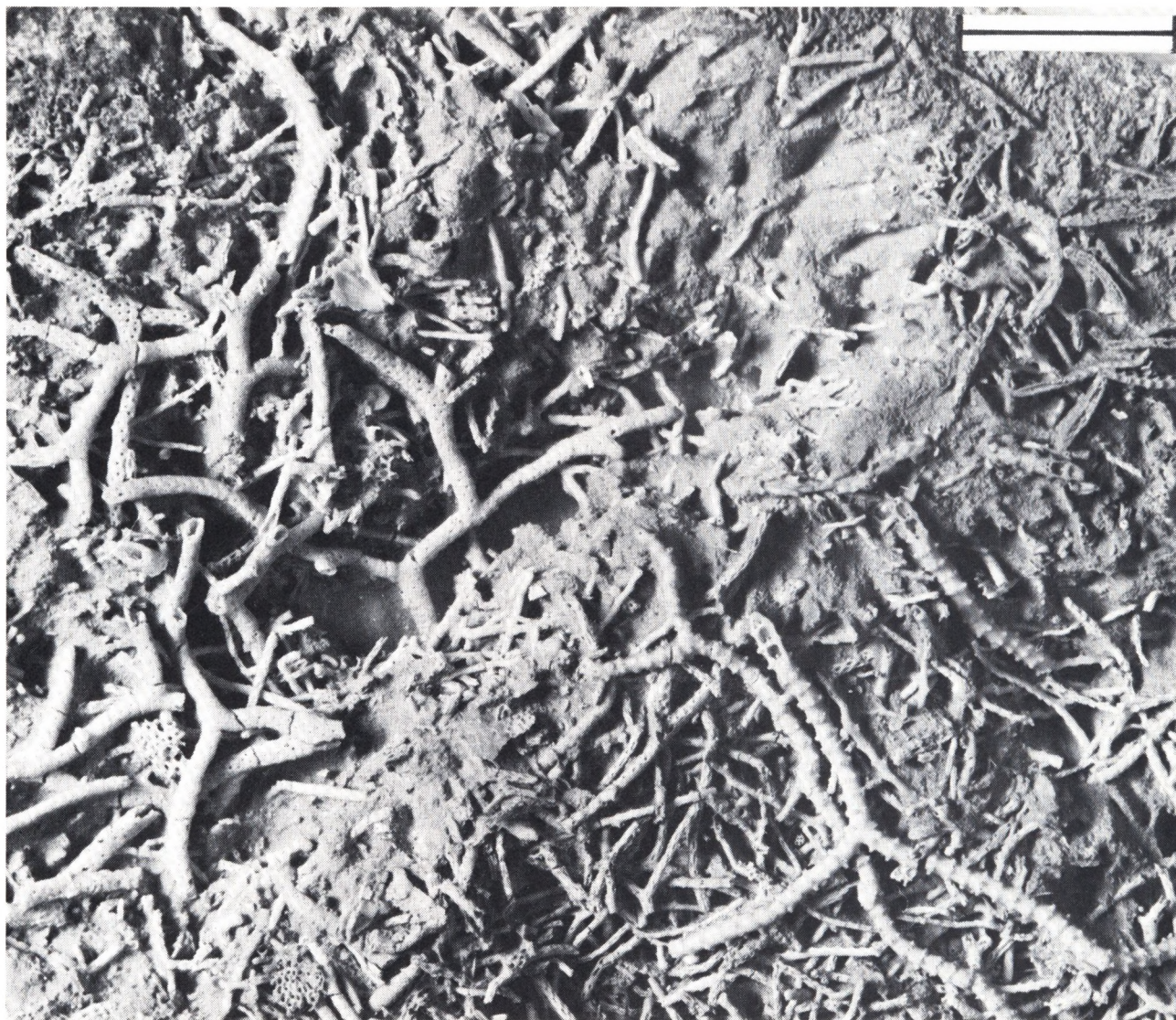


Fig. 2. Bryozokalk fra Karlby Klint. En stor del af det finkornede materiale (matrix) er fjernet ved hjælp af et sandblæsningsapparat. Derved er det muligt at se bryozoernes rumlige fordeling. Snittet er horisontalt og bjælken i billedets

øverste højre hjørne er 1 cm. I naturen kan forvitring på samme måde frilægge bryzoerne og på sydsiden af Hammelevs kirkes kor ses meget lignende kalkstenspartier.



Fig. 3. Sydenden af Sangstrup Klint set mod nordvest. Den lodrette væg af bryozokalk i baggrunden til højre er cirka 17 m høj.

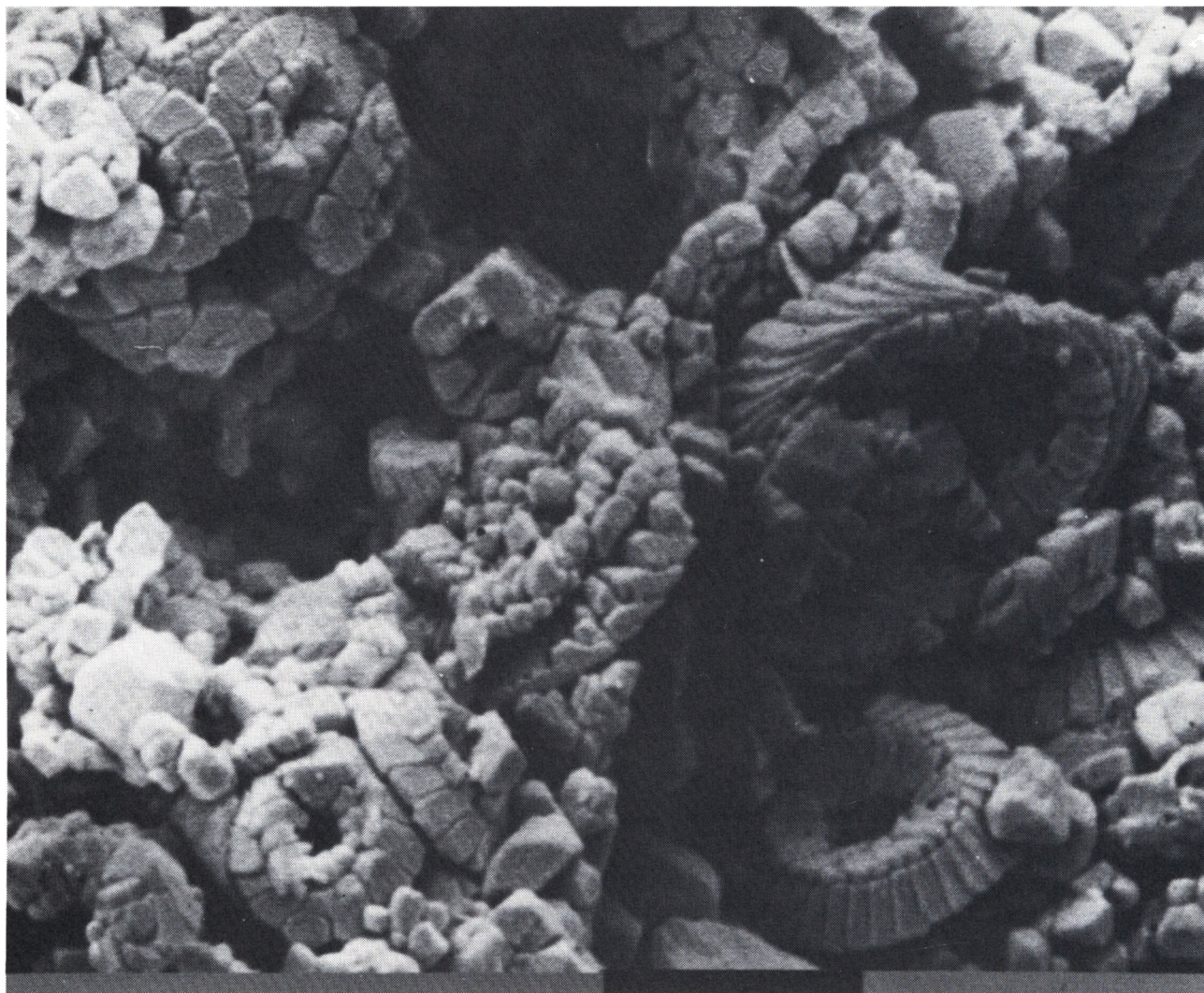
2. Kalkstenens sammensætning og dannelse

I dag står alene Hammelev kirke med blank ydermur og er let at komme til at undersøge. De øvrige kirker er dækket af et tykt lag hvidtekalk. Dog kan byggematerialet studeres over hvælvingerne eller fra loftet i våbenhuse og tårne.

Selv en ganske simpel undersøgelse med lup er tilstrækkelig til at godtgøre, at kirkerne er opført af samme materiale. Denne kalkstens karakteristiske opbygning kan særlig smukt iagttages på sydsiden af koret på Hammelev kirke, hvor en let forvitring har frem-

hævet kalkens forskellige bestanddele. Det karakteristiske element er nogle tynde grenede stængler med en diameter mellem 0.5 og 2 mm. Grenstykkerne kan være flere centimeter lange og danner et netværk som gennemtrænger hele stenen (fig. 2). Hulrummene mellem grenene er udfyldt af en finkornet matrix, hvis sammensætning dog ikke kan studeres med lup alene. En lignende kalksten kan iagttages i *Karlby* og *Sangstrup* klinten nord for Grenå (fig. 1). Faktisk består klinterne, der er op til 18 m høje og tilsammen næsten 4 km lange, i hele deres udstrækning af denne kalktype (fig. 3).

Kalken i Karlby og Sangstrup klinten kaldes bryozokalk efter de grenede stængler, der er skelettet af nogle marine dyr som kaldes bryozoer eller mosdyr



(3). Bryozoer er kolonidyr og en enkelt gren kan være sammensat af mere end et hundrede små enkeltdyr. Bryozoer er også i nutiden almindelige i de danske farvande. De vokser på havbunden, hvor de lever af at

Fig. 4. Matrix fra bryozokalk fotograferet i et scanning elektron mikroskop. Den sorte hjælke nederst i billedet er 0.002 mm. Kalken domineres fuldstændigt af forskellige arter af kokkolitter. Den viste prøve stammer ikke fra Djursland men fra Klintholm på Fyn, hvor kokkolitter er hyppigere og bedre bevaret.

filtrere mikroskopiske dyr og planter ud af havvandet. Den uhyre mængde af bryozoeer i kalken viser at livsbetingelserne på havbunden under kalkens aflejring må have været usædvanlig gode for bryozoeer. I Hammelev kirkes mure kan dog også iagttages rester af adskillige andre bundlevende dyr, såsom søpindsvin, koraller og muslinger.

Hvis man under stor forstørrelse undersøger matrixen mellem bryozogrenene, viser det sig, at selv de mindste partikler er skeletræster (fig. 4). Mest almindelig er nogle små ovale eller cirkulære kalkplader, som kaldes kokkolitter (0.002-0.010 mm i diameter). De stammer fra encellede alger som lever i de øverste vandlag, og udgør en vigtig del af havenes planteplankton. Meget hyppige er også kamrede skaller af foraminiferer (0.5-2.0 mm i diameter). Foraminiferer er encellede dyr. Nogle af foraminifererne lever på bunden, men de fleste lever frit i vandmasserne.

Bryozokalken er derfor, som næsten al kalk på jorden, dannet i havet og består af rester af dyr og planter med kalkskelet (4). Bryozokalken aflejredes for knap 65 mill. år siden i den alder geologerne kalder Danian. Danian blev tidligere anset for at tilhøre Kridtperioden, men henregnes idag til den ældste del af Tertiær.

3. Kalkstenstypernes udbredelse på nordøst Djursland

På grund af den store bjergartsmæssige lighed med kalken i kirkerne har det været en almindelig antagelse at bygningsstenen var brudt i Karlby og Sangstrup klinte (5). Undersøgelser, der kunne bekræfte dette, har dog ikke været foretaget. Det er også først i de seneste år, at dateringen af de danske kalkaflejringer er blevet så præcis, at en vurdering af antagelsen er mulig.

Allerede på et tidligt tidspunkt i denne undersøgelse blev der foretaget en biostratigrafisk datering (se afsnit 4) af kalken i klinterne og af udvalgte kalksten i nogle af kirkerne. Resultatet viste, at en stor del af bygningsstenen umuligt kunne være brudt i klinterne. For at lokalisere hvor kalken derfor var taget, var en kortlægning af de forskellige kalkstenstypers udbredelse nødvendig.

I vinteren 1980-81 borede Århus Amtskommune en 200 m dyb boring ved Kirial, 6 km vest for Grenå (fig. 5 og 6). Under et 3 m tykt morænedække stødte man på faststående kalk (fig. 5). De øverste cirka 22 m af kalken var at føle på som fint sand. Kalken var pletvis stærkt hærdenet og kan betegnes som en kalksandsten. Herunder blev kalken finere og blødere (kalksiltsten) indtil man i cirka 73 meters dybde kom i bryozokalk. Denne kalktype fortsatte til en dybde af 116 m. Efter et bryozofattigt lag passerede man ved 117 m et tyndt

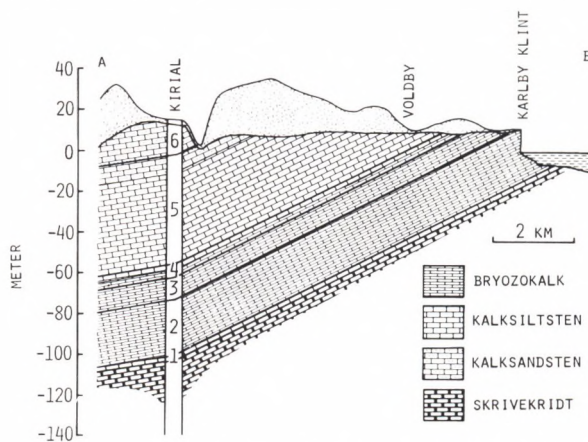


Fig. 5. Profil gennem Danian-lagene på nordøst Djursland. Profilinjen A-B er vist på figur 6. Overhøjningen er knap 50 gange. Profilet viser kalkstenstypernes udbredelse og forløbet i undergrunden af de seks registrerede kokkolit zoner. Zonerne er nummereret i Kirial boringen. Kalken er dækket af istidsaflejringer af varierende mægtigheder.

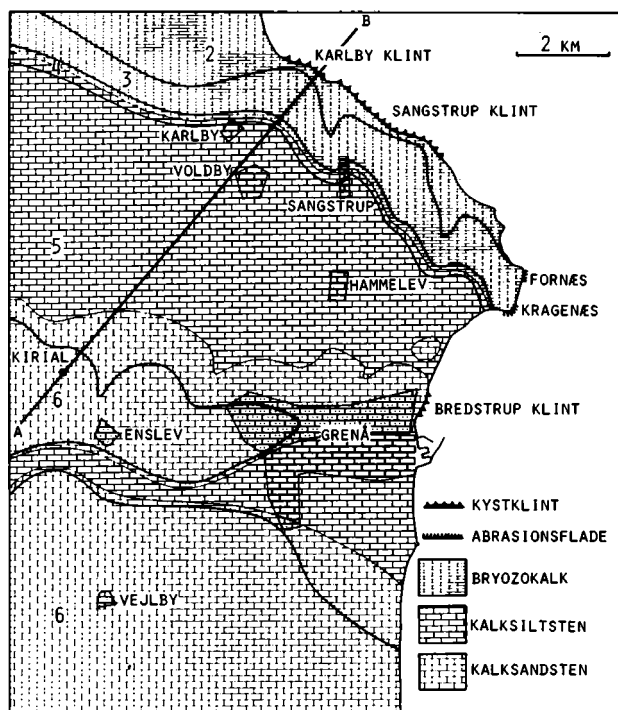


Fig. 6. Undergrundskort for en del af nordøst Djursland. Områdets udstrækning er vist på figur 1. Kokkolit zonerne er markeret med kraftigt optrukne linjer.

lerlag, hvorefter boret gik i skrivekridt. Den komplette bryozokalkenhed er således omkring 43 m tyk i dette område, og vi må konstatere, at i Sangstrup og Karlbys Klint er langt under halvdelen af den totale mægtighed repræsenteret. En anden vigtig konklusion, som vi kan drage, er, at lagene ikke ligger vandret. De lag der danner klinterne ved Karlbys og Sangstrup ligger ved Kirial mere end 60 m under havniveau (6).

De tre kalkstentypers forløb i undergrunden og udbredelse på jordoverfladen kan kortlægges ved hjælp

af brøndboringer og overfladelokaliteter i området. Undersøgelserne viser, at fra kysten ved Karlbys og Sangstrup Klint dykker lagene nogenlunde jævnt mod sydvest med godt 1 m per 100 m. Sydvest for Kirial bliver hældningen noget mindre, således som det noget skematisk er vist på figur 5.

Da lagene oprindelig blev aflejret omtrent vandret, må området på et senere tidspunkt være tippet. Hvor når det skete, vides ikke med sikkerhed, men mange ting tyder på, at det var ganske kort tid efter aflejringen. Når landskabet idag alligevel fremtræder fladt skyldes det bl.a., at istidens store gletchere indenfor de sidste få hundrede tusinde år i flere omgange har afhøvet området.

Som resultat af disse geologiske begivenheder finder vi idag de ældste lag – bryozokalken – langs med kysten (fig. 5 og 6). Ind i landet følger yngre og yngre aflejringer, først kalksiltstenen og derefter kalksandstenen. Den i princippet meget simple lagfølge får dog på overfladekortet et noget mere kompliceret forløb. Det skyldes, at vandløb og fjorde (især Kolindsund) har skåret sig ned gennem de yngre lag og blotlagt ældre dannelser.

4. Datering af kalken i naturen

Da kirkerne er bygget af bryozokalk, må kalkbrudene have ligget indenfor bryozokalkområdet. En mere nøjagtig lokalisering kræver en finere underinddeling af kalken. De mest anvendte inddelinger af aflejringer fra Danian er biostratigrafiske: d.v.s. zoner efter alder baseret på fossiler i lagrækken. I denne undersøgelse har jeg anvendt en forholdsvis ny inddeling baseret på kokkolitter (Perch-Nielsen 1979). Kokkolitter er velegnede fordi de er hyppige og meget små. En zonebestemmelse kræver derfor meget lidt materiale: mellem 0.01 og 0.2 g kalk er som regel tilstrækkelig.

Ved hjælp af kokkolitter kan Danian-kalken på Djursland inddeles i 6 zoner (7). Bryozokalken er placeret i zonerne 2, 3, og 4 (fig. 5). Langt tykkest er zone 2 med næsten 30 m bryozokalk. Zone 3 er knap 10 m tyk, mens zone 4 indeholder 4 m.

Den horisontale udbredelse af zonerne er vist på figur 6. Indenfor området med højtliggende kalk er zone 2 begrænset til kystklinerne ved Karlby og Sangstrup samt til en smal bræmme af baglandet. I lavninger langs vandløb når zonen dog omtrent 1 km ind i land. Bryozokalken tilhørende zone 3 løber – kantet mod sydvest af den smalle zone 4 – som et 1-2 km bredt bælte bag zone 2 og når Kattegat kysten ved Fornæs og Kragenæs.

5. Datering af kalken i kirkerne

Mellem seks og elleve kalkstenskvadre er undersøgt i hver kirke (8). Prøverne er taget over lofter og hvælvinger. De er såvidt muligt spredt over hele kirken, således at alle mure blev repræsenteret. Undtaget herfra er kirkerne i Lyngby og Rosmus samt Grenå gamle kirke. I Lyngby er kirken forhøjet med teglsten. Af de oprindelige kalkstensmure er derfor kun vestgavlen tilgængelig fra tagrummet. Prøver fra gavlen er suppleret med prøver fra de underjordiske dele af soklen. Samme fremgangsmåde var nødvendig i Rosmus, hvor kun de nederste dele af skibet samt enkelte partier i vestgavlen er af kalkstenskvadre. Grenå gamle kirke er som nævnt i note 2 nedbrudt. De seks prøver herfra er fra tilfældigt udvalgte kalkstensblokke, som lå spredt over det udgravede fundament. Det skal også nævnes, at i Gjerrild kirke blev de elleve først udtagne prøver suppleret med endnu en prøveserie.

Resultatet af undersøgelserne er vist i figur 7. Ud fra kalkstenens alder kan kirkerne deles i tre grupper. Den første gruppe, bestående af *Karlby* og *Voldby* kir-

	ZONE 2	ZONE 3	IALT
KARLBY	8	0	8
VOLDBY	7	0	7
VEJLBY	0	7	7
LYNGBY	0	7	7
NØDAGER	0	6	6
GJERRILD	2	9	11
HAMMELEV	4	4	8
GRENÅ G. K.	1	5	6
ENSLEV	3	4	7
ROSMUS	2	6	8
IALT	27	48	75

Fig. 7. Antal undersøgte kvadre i hver af de ti kirker, og deres fordeling på kokkolit zonerne 2 (*Karlby* og *Sangstrup* kliner) og 3 (*Fornæs* og *Kragenæs* området).

ker, er bygget udelukkende af kalk fra zone 2. Den anden gruppe dannes af *Nødager*, *Lyngby* og *Vejlby* kirker. De er bygget af kalk fra zone 3. Kirkerne i *Gjerrild*, *Hammelev*, *Enslev*, *Rosmus* og *Grenå* indeholder kalk fra begge zoner. De udgør tredje gruppe.

6. Brydningsområder

Før vi går videre med spørgsmålet om kirkernes geografiske placering i forhold til bygningsstenens oprindelsessted, er det nødvendigt, at selve brudstedet forsøges fastlagt.

For kalk med oprindelse i zone 2 kan der ikke her ske tvivl om, at den er taget i klinerne. Ganske vist tilhører en smal stribe land bag klinerne også zone 2. Men at bryde bygningssten i brud fra jordoverfladen er besværligt. For det første er de øverste 2-3 m af kalken ofte ubrugelig på grund af frostsprængninger

og nedsivende vand. For det andet besværes arbejdet af de mange vandrette flintlag, som må gennembrydes. En tredje vigtig faktor, der taler til fordel for klinterne, er, at hårde velegnede partier og bløde uegnede veksler uforudsigeligt, både horisontalt og vertikalt. I klinterne, hvor store arealer er blottede, kan de bedste partier vælges ud.

Desværre kan det ikke afgøres, hvor i klinterne stenen er taget. Bryozokalken ligger horisontal, således at den nordligste del af Karlby klint har samme alder som den sydligste del af Sangstrup (9). Adgangsbetingelserne tilsiger dog, at kalken rimeligvis er brudt i klinternes ender. Især er området ved Hjembæks udløb mellem Karlby og Sangstrup klint et sandsynligt brydningsfelt. På de centrale dele af klinterne står vandet ved normal vandstand helt op til klintens fod og umuliggør brydning fra stranden.

Med hensyn til den kalksten, som blev brudt i zone 3, gælder naturligvis også, at brydning fra jordoverfladen var besværlig. Hvis vi tager hensyn til den geografiske placering af de kirker, der overvejende er bygget



Fig. 8. Bryozokalk i strandkanten ved Fornæs.

af kalk fra denne zone, synes det desuden klart, at kalken må være fragtet fra brud til kirke ad søvejen (se afsnit 7). Det er derfor sandsynligt, at kalkbruddene igen må søges i kystregionen. Og netop hvor zone 3 rammer kysten (fig. 6) træder faststående kalk frem i stranden. Ved Fornæs er kalken frilagte over en strækning på ca. 100 m. Kalken hæver sig gradvis ind imod land til en højde af 1,5 m cirka 10 m fra vandkanten (fig. 8). Længere mod syd ved Kragenæs kommer kalken frem på den flade strand, og over en strækning på et par hundrede meter danner den små skær, hvorover bølgerne brydes. Disse to blotninger er de eneste mellem Sangstrup Klint og Bredstrup Klint ved Grenå.

Der kan således skelnes mellem to brydningsområder, ét i zone 2 omfattende Karlby og Sangstrup klint og ét i zone 3 omfattende strandarealer ved Fornæs og Kragenæs.

7. Fragtveje

I hovedundersøgelsen indgik ialt 75 kalkstenskvadre. Af disse stammer 48 eller 64 % fra Fornæs-Kragenæs området, og 27 eller 36 % fra klinterne ved Karlby og Sangstrup. Sten, som skulle fragtes over betydelige afstande, synes hovedsageligt at være brudt ved Fornæs og Kragenæs (fig. 9). Kirkerne i Nødager, Lyngby og Vejlby på sydsiden af Kolindsund er således udelukkende rejst af materiale herfra, ligesom det også dominerer kirkerne i Gjerrild og Rosmus. Kalken til disse kirker må være fragtet fra Fornæs og Kragenæs ad søvejen. I den forbindelse har det nu tørlagte Kolindsund utvivlsomt spillet en betydelig rolle. Det har fra ældre tid været en almindelig antagelse, at Grenåen og Kolindsund i middelalderen udgjorde en vigtig handels- og transportvej. Antagelsen er fornylig genoptaget for at forklare den geografiske spredning af en række beslægtede stenhuggerarbejder fra det såkaldte

»Horder-værksted« (Hein 1966). Den er også tidligere bragt frem i forbindelse med kalkstenskirkernes udbredelse (10). Med anvendelse af Kolindsund har den vanskelige landtransport i de fleste tilfælde kunnet reduceres til nogle få kilometer. En undtagelse er Rosmus kirke på Syd-Djursland. I Rosmus kirke er kalkstenskvadre kun konsekvent anvendt i soklen og den nederste del af skibets mure samt i en frise på det ellers fuldstændigt fornyede kor. Kirken blev fuldført med grundfjeldsblokke og kalkrullesten af samme type, som endnu findes i egnens grusgrave. Måske var en relativ lang landtransport kombineret med sejlads

over åbent hav en medvirkende årsag hertil. I den forbindelse bør det dog nævnes, at i nogenlunde samme periode blev kalk fra Grenåegnen fragtet op ad Gudenåen til Øm Kloster ved Mossø (Bavngaard & Garner 1980) – og den blev sejlet over åbent hav til Danevirkevolden i Slesvig (Ødum 1938).

Kalk fra Karlby og Sangstrup klinger er normalt transporteret kortere end kalk fra Fornæs og Kragenæs. Kun kirkerne umiddelbar bag klinterne i Voldby og Karlby er udelukkende bygget af kalksten herfra (fig. 9). Stenen må være fragtet over land. Ren landtransport må også være anvendt for Hammelev kirkes vedkommende. Den sidste kirke hvori kalk fra klinterne indgår med en væsentlig andel er Enslev. Det må dog formodes at kalken i dette tilfælde blev fragtet ad søvejen gennem Kolindsund.

8. Hvorfor mere end ét brydningsfelt?

Det forhold, at Karlby og Voldby kirker er opført af kalk fra de nærliggende klinger, er ikke overraskende. Heller ikke at samme kalk indgår som et betydeligt element i Hammelev og Enslev kirker. Det overraskende, og det der i det hele taget synes at kræve en forklaring, er, hvorfor størstedelen af kalken blev brudt i de små områder ved Fornæs og Kragenæs. Er det muligt på baggrund af de opnåede resultater at forklare hvorfor klinterne tilsyneladende var mindre attraktive. Nogen entydig forklaringer synes ikke at kunne gives, men jeg vil dog antyde et par mulige årsager.

For det første viser undersøgelser af kalk i tyndslib, at der eksisterer forskelle mellem kalken fra de to områder, som ikke kan iagttages med det blotte øje (11). Kalken fra zone 3 (Fornæs-Kragenæs) indeholder overalt mange bryozoaer og forholdsvis lidt slam (matrix). Denne type kalk findes også i zone 2 (Karlby-

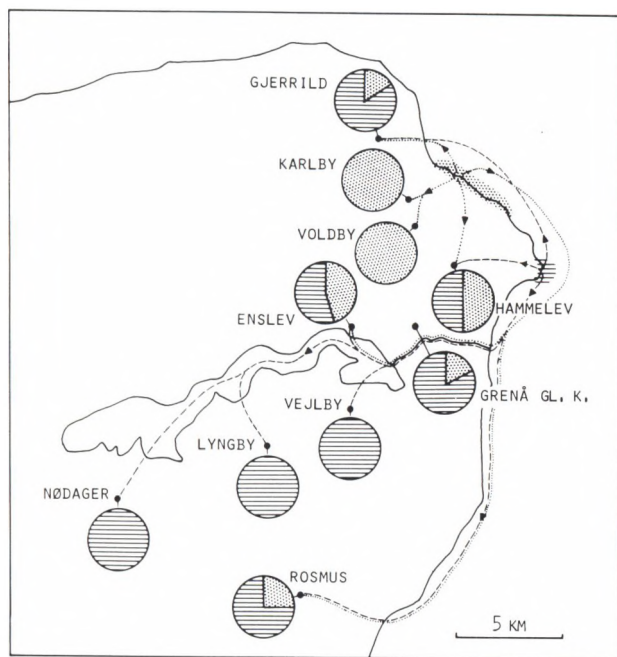


Fig. 9. Fordeling af kalksten fra Karlby-Sangstrup og fra Fornæs-Kragenæs i hver af de ti undersøgte kirker. For hver kirke er den mest sandsynlige transportvej fra kalkbrud til kirke vist. Kalk fra Karlby-Sangstrup er angivet med prikket signatur; kalk fra Fornæs-Kragenæs med vandret skraering.

Sangstrup), men klinterne domineres af en kalk med lidt færre bryozoner og tilsvarende mere slam. Kalken med mange bryozoner er som regel hårdere end kalken med færre bryozoner og må antages at være bedre egnet som bygningsmateriale (se afsnit 9).

For det andet kan rent brydetekniske forhold have spillet en rolle for valget. På Fornæs og Kragenæs blev kalken brudt på den svagt hældende strandflade og brydningen har været ganske ufarlig. I klinterne ved

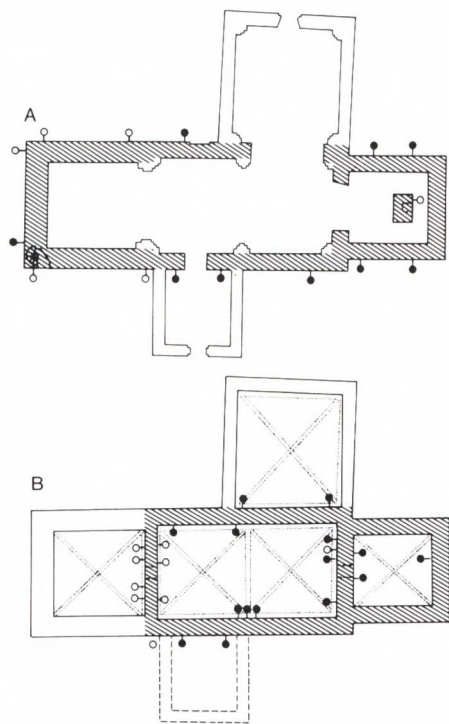


Fig. 10. Planer over Gjerrild kirke i (A) sokkel- og (B) gesimsniveau. Skraverede dele er bygget i kalksten. Placeringen af undersøgte kvadre er vist med cirkler. Kvadre fra Karlby-Sangstrup klinte er markeret med åbne cirkler; kvadre fra Fornæs-Kragenæs området med udfyldte cirkler. Planerne er modificeret efter Storck, Ahlmann & Kock 1896.

Karlby og Sangstrup må kalken fortrinsvis være taget i klinternes nedre del. Her findes den bedste kvalitet, og her er kalken lettest tilgængelig (fig. 2). Det betyder imidlertid, at brydningsarbejderne konstant har været i fare for nedstyrtende kalk og flint fra den lodrette eller overhængende klints øverste løse del. Egne erfaringer med prøveudtagning viser, at denne fare er ganske reel.

De to forklaringer tager udgangspunkt i observerbare forskelle mellem de to brydningsområder, men de behøver naturligvis ikke at være rigtige af den grund. Mange andre mere eller mindre sandsynlige forklaringer kunne fremføres.

Måske kan en højere grad af forståelse opnås ved en nærmere undersøgelse af de kirker, der er bygget af sten fra begge lokaliteter. Prøverne fra Gjerrild kirke antydede, at kalken fra Fornæs-Kragenæs området og kalken fra klinterne ikke var blandet på en tilfældig måde. Yderligere prøver bekræftede denne formodning. De viste at koret og skibets langmure helt overvejende er bygget af kalk fra Fornæs-Kragenæs feltet. Skibets vestmur, samt de dele af tårnet som er rejst i kalk er derimod domineret af materiale fra klinterne (fig. 10). Er ændringen sket i løbet af den oprindelige kirkes opførelsesperiode eller står den i forbindelse med en senere ombygning? Vi ved det ikke, men spørgsmålet kan sikkert løses ved en bygningshistorisk gennemgang af kirken.

I de øvrige kirker med blandet materiale er sten fra Fornæs-Kragenæs og sten fra klinterne tilsyneladende blandet på en tilfældig måde. Det kan dog langt fra udelukkes at flere prøver fra disse kirker vil afsløre lignende skift mellem de to brydningsområder.

Også indenfor bygningsgruppen som helhed kunne man forestille sig, at Fornæs-Kragenæs området efterhånden blev opgivet til fordel for klinterne. Det vil

kunne afgøres, hvis rækkefølgen i kirkernes opførelses-tidspunkt kan fastlægges.

Foreløbig kan vi nok konkludere, at man i almindelighed foretrak den hårde kalk fra Fornæs og Kragenæs. Den ofte lidt blødere kalk i Karlby og Sangstrup klinte blev benyttet, hvor afstanden helt klart gjorde klinterne mere fordelagtige, eller hvis brydning i de små områder ved Fornæs og Kragenæs for kortere eller længere tid var besværliggjort eller umulig.

9. Bryozokalken som bygningssten

Kalkstenskirkerne er generelt meget velbevarede. En hovedårsag hertil må være bryozokalken – til trods for at den sammenlignet med granit og teglsten er temmelig blød – er et stabilt bygningsmateriale.

Oprindelig var bryozokalken et blødt sediment på havbunden. Efterhånden som kalken blev begravet under stadig tykkere aflejringer blev den mere kompakt og mindre porøs. Bryozonerne blev presset hårdt mod hinanden, og hvor trykket var højest begyndte kalken at gå i opløsning. Grenene blev svejset sammen (fig. 11). Den opløste kalk gik ud i porevandet og udfældedes andre steder, hvor den var med til at cementere kalken sammen. Trykopløsningsprocesserne var især vigtige i kalke med mange bryozoaer og forholdsvis lidt slam mellem grenene. Denne type er derfor normalt hårdere end kalk med færre bryozoaer. Mere kalkcement kom fra muslinger og snegle. Disse og flere andre dyregrupper har skaller som over lange tidsrum er ustabile og går i opløsning.

Bryozogrenenes eget bidrag til kalkens sammenhængskraft er sikkert ringe. Bryozoernes betydning ligger nok mere i, at de har været med til at opretholde porøsiteten i bjergarten, således at porevandsbevægelser til stadighed kunne foregå. Vedvarende porevandsbevægelser har utvivlsomt medvirket til den ho-

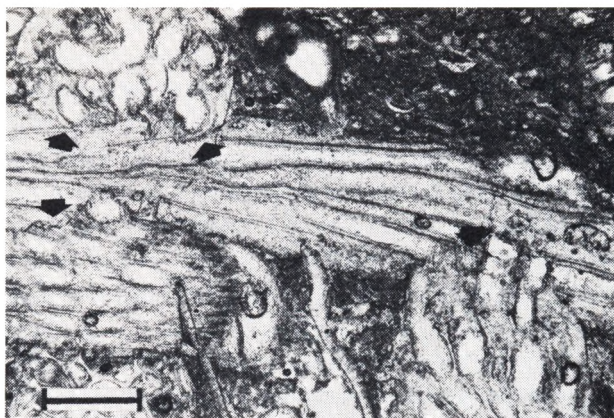
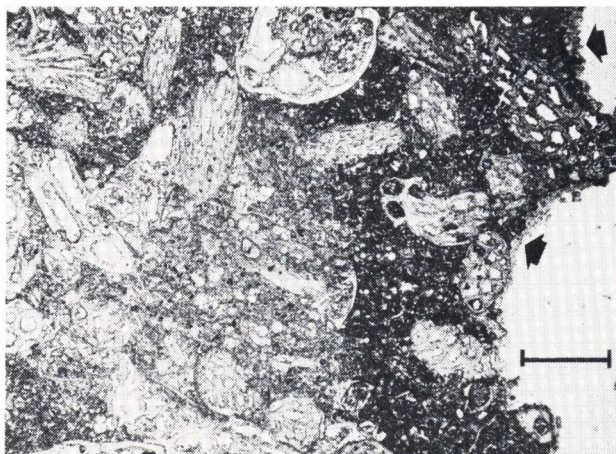


Fig. 11. Tyndslib af kalksten fra Gjerrild kirke. Billedet viser længde og tværsnit af bryozogrene indlejret i en mørkere matrix. Bemærk hvorledes grenene ved trykopløsning har ætset sig ind i hinanden (pile). Bjælken er 0.5 mm.

Fig. 12. Vertikalt orienteret tyndslib vinkelret på overfladen af en kalkstenskvadre fra Gjerrild kirke. Prøve fra den øverste del af skibets nordmur, ud mod nordre korsarm. På overfladen ses en tynd, lys skorpe af sekundært udfældede kalkkrystaller. Den mørke zone bag skorpen er imprægneret med kalk. Bjælken er 1.0 mm.



mogene cementering af store partier, der er karakteristisk for bryozokalken.

Sammenlignet med de ovenfor beskrevne processer er det temmelig små forandringer, der er sket med kalken efter at den er brudt til bygningssten. Ofte kan kalkprøver taget over hvælvingerne ikke skelnes fra den friske kalk i klinterne. På exponerede flader, og især på ydermure, er der dog tit dannet en tynd skorpe af meget små kalkkrystaller. Ligeledes kan zonen bag skorpen være imprægneret med kalk (fig. 12). Lignende skorper kendes også fra naturlige kalkvægge der har stået urørte over længere tid. Skorpen dannes ved at kuldioxidholdigt og kalkundermættet regnvand trænger ind i muren og opløser ganske små mængder af kalk. Når vandet fordamper fra stenens overflade udfældes kalken igen.

Disse omdannelser har naturligvis medvirket til at øge stenens styrke. Lignende processer kan dog også være med til at svække stenen. I de underjordiske dele af soklen er kalken ofte vandmættet og kan virke udvasket (fig. 13). Det skyldes at de små kalkpartikler i matrixen er opløst og med porevandet ført ud i den pålejrede jord, uden at komme til udfældning på stenens overflade. Opløsningen er i nogle tilfælde gået så vidt at selv bryozoaer er delvis væk.

I sammenligning med bryozokalken er den yngre kalksiltsten meget dårlig egnet som bygningssten. Den er blødere og tilbøjelig til at spalte i forholdsvis tynde plader. Selvom kalksiltstenen er vidt udbredt (fig. 6) er den ikke tilgængelig i kystprofiler. Kalken er for blød til at danne lodrette klinte. Ingen af de undersøgte kvadre var af kalksiltsten. Det må dog nævnes, at på den indvendige side af Hammelev kirkes spids-gavle er denne kalktype i mindst ét tilfælde anvendt som udfyldningsmateriale i mindre huller mellem kvadre af bryozokalk.

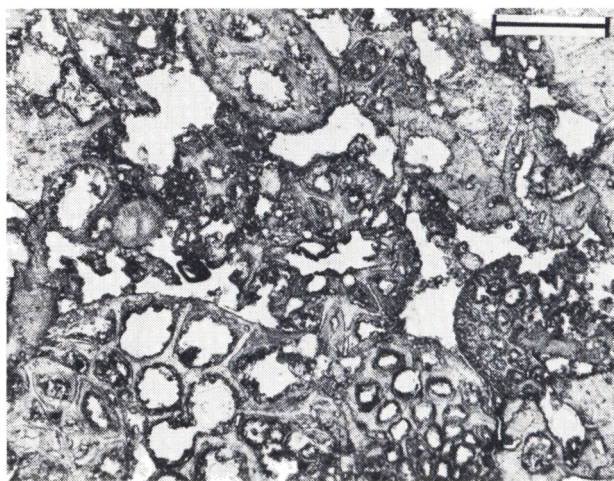


Fig. 13. Tyndslib af kalkprøve fra Gjerrild kirkes sokkel. Det finkornede materiale er fjernet, ligesom mange bryozoaer viser begyndende opløsning. Bjælken er 0.5 mm.

Kalksandstenen, som udgør den yngste del af Djurslands Danian aflejringer, består af vekslende hårde og bløde partier. De hårde partier er som regel formet som knolde men kan også optræde som regulære kalkbænke. Knoldene varierer i størrelse fra nogle få centimeter til cirka en meter i diameter. Kalksandstenen kommer frem i klinterne ved Bredstrup nord for Grenå (fig. 6).

Kalksandsten er ikke påvist som bygningssten i de undersøgte kirker. Den har dog fundet anvendelse i den skulpturelle udsmykning, idet to relieffer på Karlbys kirkes ydermure er udført i dette materiale. Knoldene i kalksandstenen er endnu hårdere end bryozokalken og kunne synes velegnede som bygningssten. De er dog vanskelige at bearbejde til kvadre. Kalksandstenen har muslet brud og opfører sig overfor slag nærmest som et keramisk materiale. Den mangler bryozokalkens sejhed og homogenitet.

10. Afslutning

Karlby og Sangstrup klint er indtager en dominerende position i Nord-Djurslands natur. Det er derfor forståeligt, at klinterne er blevet betragtet som oprindelsessted for stenen i egnens kalkstenskirker. Denne undersøgelse har vist, at sådanne, næsten intuitive, konklusioner kan være letsindige, idet kun ca. en tredjedel af kirkernes kvadre er hugget ud af klinterne. Størstedelen stammer fra små, ubetydelige blotninger i strandkanten ved Fornæs og Kragenæs. Hvorfor man foretrak de små områder ved Fornæs og Kragenæs kan ikke afgøres med sikkerhed. Det må dog bemærkes at kalken her gennemgående er lidt hårdere end kalken i klinterne, ligesom arbejdet på den jævnt hældende strandflade har været mindre farligt end i de lodrette klintvægge.

Måske er brydningen i begyndelsen hovedsagelig foregået ved Fornæs og Kragenæs. Først efter at den mest velegnede kalksten her er brugt op, er klinterne inddraget. Hypotesen bygger på undersøgelser af Gjerrild kirke. Denne kirke er bygget af kalk fra begge områder, men kalken er ikke blandet på en tilfældig måde. De sandsynligvis ældste dele, nemlig koret og skibets østlige partier, er bygget af kalk fra Fornæs og Kragenæs, mens skibets vestmur samt tårnfundamentet er rejst af kalk fra klinterne. Fremtidige undersøgelser af de velbevarede kirker i Hammelev og Enslev, som også er bygget af materiale fra begge områder, skulle kunne be- eller afkræfte denne teori.

På Djursland er størstedelen af kalkstenen således brudt, hvor man ikke umiddelbart ville forvente det. Det fører naturligt til den tanke, at det samme kunne være tilfældet på det østlige Sjælland. Her er mere end tres kirker helt eller delvis bygget af kalksten. Stenen antages at være taget i Stevns Klint, der i dette område indtager samme iøjenfaldende position som Karlby

og Sangstrup klint på Djursland. Undersøgelser, der kunne understøtte formodningen er ikke foretaget. Det synes imidlertid rimeligt at antage, at de metoder, som i dette arbejde er anvendt på Djursland, også med held kan bruges i det sjællandske område.

Givetvis vil lignende undersøgelser i de fleste tilfælde også kunne afklare oprindelsesstedet for kalken i en række østjyske kirker. Med størst koncentration i området mellem Randers og Mariager fjorde ligger kirkerne spredt fra Limfjorden i nord til Århus egnen i syd (12). Det må dog erkendes at undersøgelser, som de her nævnte, vil kræve en betydelig arbejdsindsats, idet der ikke foreligger detaljerede geologiske undergrundskort for de pågældende områder.

Noter

1. I den arkæologiske litteratur betegnes kirker bygget af kalksten fra den danske undergrund normalt som kridtstenskirker, ligesom bygningsstenen ofte kaldes kridtsten. Denne praksis er ikke i overensstemmelse med moderne geologisk terminologi, hvor udtrykket kridt er begrænset til meget fintkornede kalkaflejringer (kornforstørrelses-fordeling omtrent som i et lersediment). I Danmark er kridtaflejringer vidt udbredte. Mest kendt er nok skrivekridtet som bl.a. forekommer i Ålborg området og på Møn. Skrivekridtet er dog ikke anvendt som bygningssten. Aflejringerne på Djursland er betydelig grovere end skrivekridtet og må klassificeres som en kalksten. *Kirkerne bør derfor betegnes kalkstenskirker.*
2. En tiende kirke, nemlig Grenå gamle kirke, blev nedbrudt i midten af 1600-årene (Storck, Ahlmann & Kock 1896). Tilbage er kun fundamentet af grundfjeldsblokke samt en del spredte kalkstensstykker af samme type som i de øvrige kirker.

3. I arkæologisk og ældre geologisk litteratur kaldes bryozokalken ofte for limsten. Ordet limsten er dog også brugt om helt andre kalkstentyper og er derfor undgået i denne artikel.
4. Kildekalk eller frådsten, der indgår som bygningsten i mange landsbykirker, er et kemisk-biokemisk udfældet sediment. I geologisk henseende er denne type aflejring ganske ubetydelig.
5. I Storck, Ahlmann & Kochs værk bemærkes at »kridtstenen« er taget i »Klinten Nord for Grenaa«. Deres beskrivelse af klinten er dog ikke i overensstemmelse med forholdene i Karlby og Sangstrup klint, men passer nærmere på Bredstrup Klint tættere ved Grenå. Kalken i Bredstrup Klint er dog ikke bryozokalk men kalksandkalk.
6. Århus Amtskommune stillede velvilligt prøver til rådighed, ikke blot fra Kirial boringen, men også fra en række brøndboringer i området. Disse sidste er udlånt til Amtskommunen fra Danmarks Geologiske Undersøgelse. Jeg er begge disse institutioner taknemlig og vil især takke geolog Inga Sørensen, Århus Amtskommune, for betydelig assistance.
7. I den yngste del af Daniet afviger den anvendte zonerings lidt i forhold til Perch-Nielsen's originale, idet zone 5 er lig med P-N zonerne 5+6, og zone 6 er lig med P-N zone 7. De øvrige zoner er uforandrede. For definition af zonerne henvises iøvrigt til Perch-Nielsen 1979.
8. Ved kirkebesøgene og prøveudtagningen medvirkede Karen Birgit Pauli, Palæoekologisk afdeling, Århus Universitet. K.B. Pauli har også fremstillet mange af kokkolit præparaterne.
9. Hvis man går langs klinterne, vil man bemærke at lagene forløber i store buer. Det skyldes at bryozoen ikke voksede lige godt overalt. Hvor forholdene var gode voksede bryozoen tættere, og der dannedes mere skeletmateriale. Kalklagene blev tykkere og dannede banker (Thomsen 1976). Bankerne er dog kun at betragte som krusninger på en ellers vandret flade.
10. Betydningen af Kolindsund blev påpeget i en udstilling ved fotograf Poul Pedersen, Århus, om Grenåegnens Kalkstenskirker. Udstillingen åbnede på Grenå Museum i 1980, og er siden blevet vist flere steder i landet.
11. Et tyndslib er en tynd (0,02 mm) skive af en bjergart. Skiven er gennemskinnelig og selv små detaljer kan derfor studeres i mikroskop. Slibene til denne undersøgelse er fremstillet af Steen Røj Jacobsen, Palæoekologisk afdeling, Århus Universitet.
12. En kalkstenskvadre fra Hørning kirke mellem Århus og Skanderborg, indsamlet af fotograf Poul Pedersen, Århus, tilhører zone 3 og stammer utvivlsomt fra Fornæs, Kragenæs området.

Litteratur

- Bavngaard, E. & H.N. Garner: Kalk til Øm Kloster. Århus Stifts Årbøger. 1980, p. 7-13.
- Hein, H.K.: Horder en romansk stenmester. Århus Kunstforening af 1847. 1966.
- Perch-Nielsen, K.: Calcareous nannofossil zonation at the Cretaceous/Tertiary boundary in Denmark. I: T. Birkelund & R.G. Bromley (redaktører): Cretaceous/Tertiary boundary events. The Maastrichtian and Danian of Denmark, p. 115-135. København 1979.
- Storck, H., V. Ahlman & V. Kock: Grenaa Egnens Kridtstenskirker. København 1896.
- Thomsen, E.: Depositional environment and development of Danian bryozoan biomicrite mounds (Karlby Klint, Denmark). Sedimentology 23, 485-501, 1976.
- Ødum, H.: Et træk af Danevirkes historie. Naturens Verden, p. 199. 1938.