

SÆRTRYK 132
Ingeniøren nr. B 12, 1963

UDK 666.972.12
kr. 4,50 i. o.

Gunnar Larsen
Undersøgelse af flintfattigt grus til beton

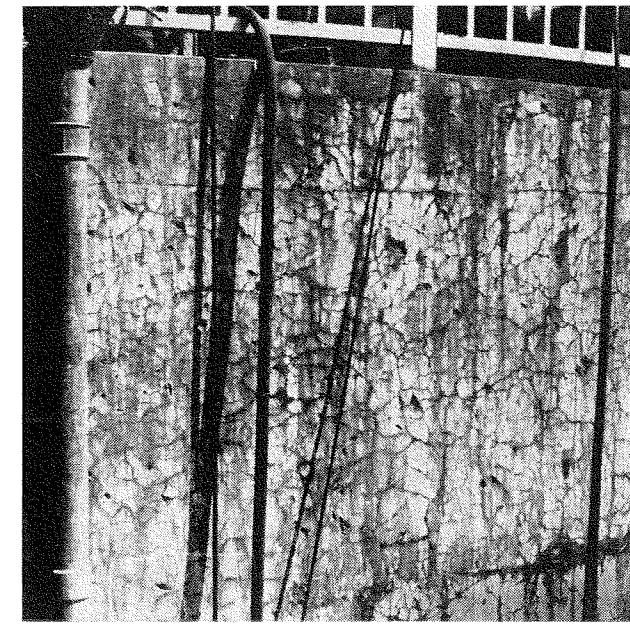
STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
I kommission hos Teknisk Forlag · København 1963

Undersøgelse af flintfattigt grus til beton

af

Gunnar Larsen, mag. scient.

Statens Byggeforskningstitut



666.972.12

Fig. 1. Betonkonstruktion forvitret i svær grad væsentligt som følge af alkali-aggregater. Kvantitativ petrografisk analyse af ca. 65 tyndsnit udtaget forskellige steder i bygverket har vist, at flintindholdet i tilslagets sandfraktion gennemsnitlig er ca. 6½ %; det varierer fra ca. ½ til ca. 12½ %; i over 95 % af tyndsnittene er sandets flintindhold > 2 %. Stenfraktionens flintindhold er > 50 %.

Indledning.

Problemer vedrørende tilslagsmaterialernes indflydelse på betonkonstruktioners styrke og holdbarhed har haft en central placering i de senere års betonforskning i Danmark. Væsentlige bidrag til belysning af problemerne fremkom gennem de undersøgelser. Udvælgelser vedrørende alkali-aggregater i beton udførte i årene 1954-59; det var i særlig grad spørgsmålet om betonforvitring som følge af reaktioner mellem cements alkali og flintbjergarter fra gruset, der blev behandlet her. Resultaterne af udvalgets mange sidige forskningsprogram, omfattende bl. a. studier af forvitringssymptomer i beskadigede bygværker, analyser af grusmaterialer, forsøg med forskellige kombinationer af delmaterialer m. v., er meddelt i en serie Progress Reports. Med udgangspunkt i disse forskningsresultater er der udarbejdet to praktiske anvisninger: Alkaliudvalgets vejledning 1 (61 P 1) og Alkaliudvalgets vejledning 2 (61 J 1), omhandlende henholdsvis forebyggelse af alkali-aggregat forvitring og reparation af beskadigede betonkonstruktioner.

De forslag til forebyggende foranstaltninger mod alkali-aggregat forvitring, vejledning 1 anbefaler ved opførelse af udsatte betonkonstruktioner, kan kort sammenfattes således:

1. Lavalkali cement + alm. tilslag.
2. Alkaliresistent cement + alm. tilslag.
3. Alm. Portland cement + flintfrit tilslag.
4. Alm. Portland cement + flintfattigt tilslag.
5. Alm. Portland cement + alm. tilslag + puzzolan.

Det skal bemærkes, at af disse alternative forslag er det, som foreskriver flintfrit tilslag, det eneste som ifølge hidtidige erfaringer giver fuld sikkerhed mod alkali-aggregat reaktioner. De øvrige foranstaltninger ned sætter risikoen betydeligt, men eliminerer den ikke helt, se nærmere (61 P 1).

Erfaringen har vist, at der fra byggeriets side er betydelig interesse for den foranstaltning, som går ud på

at benytte tilslag med lavt flintindhold sammen med alm. Portland cement. Som en naturlig konsekvens heraf har der i de senere år været bestræbelser i gang for at lokalisere egnede grusforekomster. SBI har deltaget i dette arbejde dels ved på eget initiativ at indsamle og analysere grusprøver dels ved efter henvedelse udefra at bestemme flintindhold i indsendte prøver.

Det er disse undersøgelseres foreløbige resultater, der er emnet for den her foreliggende rapport. En del af resultaterne har været forelagt på 4. Nordiske Betonforskningskongres, Ålborg september 1962. Ved undersøgelserne har forfatteren haft samarbejde med civilingeniørerne *Jørn Jessing* og *Erik Trudsø* samt cand. mag. *E. Stenestad* og *G. Jansson*, som har deltaget i det petrografiske analysearbejde. Oplysninger om lokalisering m. v. af en del af det undersøgte materiale, nemlig havbundssandet fra S-Fyn, er modtaget fra Svendborg Amts Vejvæsen. Danmarks Geologiske Undersøgelse har bistået med udpegning af kvartssands lokaliteter. Nogle forsøg med tertiær kvartssand er udført af Laboratoriet for Bygningsteknik, DTH. De nævnte, der har bidraget til arbejdets gennemførelse, takkes hermed. En tak rettes ligeledes til forskningsleder, civilingeniør *N. M. Plum* for kritisk gennemsyn af rapporten.

Terminologi.

Betegnelsen *grus* anvendes i overensstemmelse med DS 411 for blanding af sand og sten, der ikke er defineret som partikler henholdsvis mindre end og større end 4 mm □. En præves *kornstørrelsесfordeling* angives, ligeledes efter DS 411, ved summationskornskurven. Som udtryk for gennemsnitskornstørrelsen benyttes i lighed med sedimentologisk praksis kurvens *medianværdi*, d. v. s. den partikelstørrelse, som svarer til den kumulative hyppighed 50 %.

Flint er bjergarter bestående af mikrokristallinske og/eller amorf kiseltsyre (SiO_2), undertiden tillige indeholdende kalcit (CaCO_3). I beton teknologien skelnes ofte mellem to hovedtyper: porøs og tæt flint, som ikke kan inddeltes på flg. måde efter mineralsammensætning:

porøs flint	{ Kalkopal flint Opal flint
tæt flint	{ Kalkkalcedon flint Kalcedon flint

Hvor intet andet er bemærket, dækker betegnelsen flint både de porøse og de tætte typer. De nævnte flinter er oprindelig hjemmehørende i den danske undergrunds kridt og kalkformationer. For nærmere oplysninger om disse flintbjergarter henvises til publikationerne (57 J 4), (58 G 1). »Silicifikater« er en geologisk betegnelse for nogle specielle, kalkfrie flintbjergarter forekommende i tertiarer sand; det drejer sig om forkislede, ofte forsteningsførende bjergarter, hvis oprindelige hjemsted er Østersøområdets siluraflejringer.

Kvartært grus, sand etc. er aflejret i kvartærtiden, som omfatter istiden og tiden efter denne. Det tertære kvartsand er dannet i den yngste del af tertærtiden, nemlig miocæn- og evt. pliocæntiden.

Ved flintfrit grus forstas materialer, hvis indhold af flintbjergarter er praktisk taget 0 %. En aflejring betegnes flintfattig, hvis dens indhold af flint ikke overstiger 2 %. Denne terminologi er udarbejdet på grundlag af de foreløbige resultater af Alkaliudvalgets mørtepismeprøvs; disse forsøg har vist, at med flintprocenter < 2 % under alm. danske forhold praktisk taget ingen mørtepismeexpansioner > 0,1 %, uanset cementens alkaliindhold, hvilket skulle svare til, at risikoen er meget ringe for alkaliselforvitring i bygvarer støbt med tilsvarende materialer.

Petrografisk metodik.

Laboratoriets grusundersøgelser udføres ved hjælp af en petrografisk metodik, som tidligere er beskrevet i publikationerne (59 L 6), (59 L 7), (61 P 1). I korte træk er fremgangsmåden følgende:

Prøven fraktioneres først ved sigtning, idet et sigtesæt med følgende maskevidder anvendes:

1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 mm □.

Ud fra materialets vægtmæssige fordeling i fraktionerne optegnes kornkurven. Derpå undersøges hver enkelt fraktion for indhold af mineraler og bjergarter, idet der foren de ovennævnte flinttyper skelnes mellem kalksten, sandsten, eruptiver og mineralkorn. Komponenternes hyp-

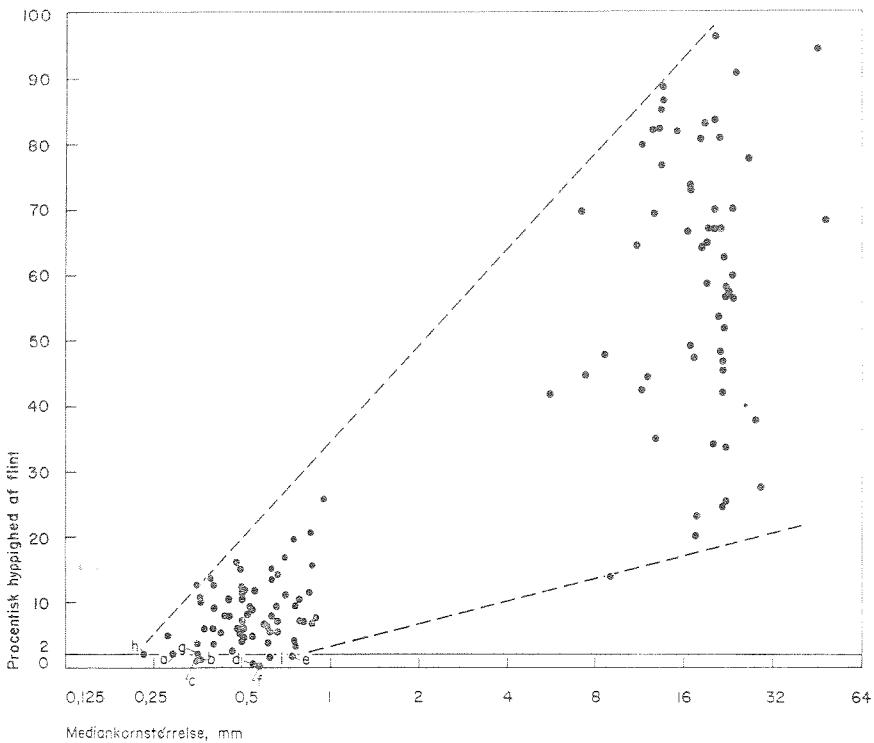


Fig. 2. Danske grusmaterialer; relation mellem flintindhold og gennemsnitskornstørrelse. Ni (mrk. a-i) af de finkornede prøver indeholder < 2 % flint; disse flintfattige prøvers lokalering er vist i fig. 3.

pighed bestemmes ved optælling af 100 til 300 korn pr. fraktion. Undersøgelsen af fraktionerne > 4 mm □ udføres makroskopisk støttet af observationer i binokulært mikroskop. Af fraktionerne < 4 mm □ fremstilles mikroskoppræparer, bl. a. tyndsnit, som analyseres ved hjælp af polarisationsmikroskop. Endelig beregnes på grundlag af fraktionsanalyser og kornkurve prøvens totalindhold af de nævnte bestanddele.

Foruden disse mineralogiske undersøgelser bestemmes ofte tillige visse fysiske kornegenskaber, såsom kornform og kornoverflade; sådanne undersøgelser er behandlet i publikationen (62 L 4).

Alment om flintindhold i dansk betongrus.

Til yderligere belysning af baggrunden for de iværksatte undersøgelser af flintfattigt grus gives i det følgende en kortfattet redegørelse for vort kendskab til flintindholdet i danske grusmaterialer i al almindelighed.

Langt den overvejende del af det grus, som benyttes til betonstøbning her i landet, er kvartære dannelser. Man kan skelne mellem typerne: 1) »bakkematerialer«, som hovedsagelig er moræne- og smeltevandsaflejringer fra istiden, 2) strandsand og -grus, som er opstået i efter-istiden ved omlejring af istidsdannelser samt 3) »sømaterialer« omfattende både egentlige havbundsaflejringer og »drunknede« istidsdannelser.

Undersøgelse af disse grusforekomsters sammensætning, bl. a. flintindhold, indgik i Alkaliudvalgets forskningsprogram. Resultaterne er meddelt af cand. mag. B. Søndergård i Alkaliudvalgets Progress Report E 1 (59 S 7). Heri er grusets indhold af flint m. m. angivet for hver kornstørrelsесfraktion undtagen 0-1/8 mm □, som ikke undersøges.

Der er siden foretaget en omregning fra fraktionernes indhold af flint til totalprøvernes indhold heraf under hensyntagen til kornkurverne. Det skal bemærkes, at for de prøver, som indeholder materiale < 1/8 mm, er det ved beregningen fundne flintindhold formentlig lidt

lavere end det virkelige flintindhold på grund af, at fraktionen 0-1/8 mm som nævnt ikke er undersøgt petrografisk. Denne fejlkilde må dog anses for ret betydningslös dels på grund af, at materialet < 1/8 mm kun udgør en ringe del af totalprøven, dels fordi 0-1/8 mm fraktionens flintindhold, ifølge SBI's erfaringer, er ganske ringe.

I diagrammet fig. 2 er det fundne flintindhold angivet i relation til gennemsnitskornstørrelsen for de enkelte prøver; her er tillige indtegnet tilsvarende data for nogle analyser udført på SBI's laboratorium i tidsrummet 1957-59. Det bemærkes, at analyserne efter kornstørrelse falder i to velafrænsede områder, et grovkornet og et finkornet; årsagen hertil er, at de undersøgte materialer har været sandprøver og stenprøver, men ikke sammenblandede grusprøver.

Diagrammet afspejler det velkendte forhold, at flintindholdet stiger med tiltagende kornstørrelse. Desuden fremgår, at der gør sig meget store variationer gældende i flint-

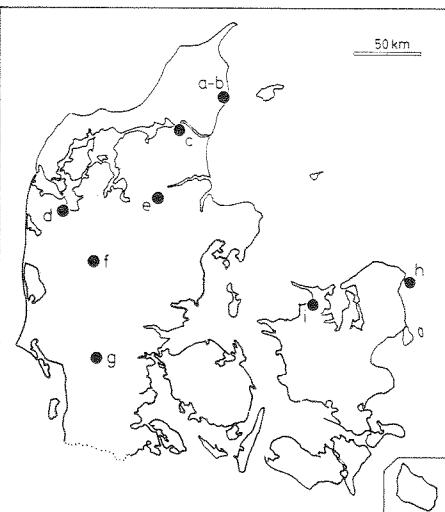


Fig. 3. Lokaliseringen af ni (mrk. a-i) flintfattige sandprøver fra fig. 2.

hyppigheden selv for prøver med samme gennemsnitskornstørrelse. Disse variationer er ikke blot udtryk for, at det afbildede analysemateriale repræsenterer alle aflejringstyper fra de forskellige dele af landet; det har vist sig, at selv indenfor geologisk og geografisk veldefinerede forekomster kan variationerne være betydelige.

Endvidere ses af diagrammet, at omkring 15 % af de undersøgte sandprøver må henføres til kategorien: flintfattige materialer, idet flintindholdet er < 2 %. På

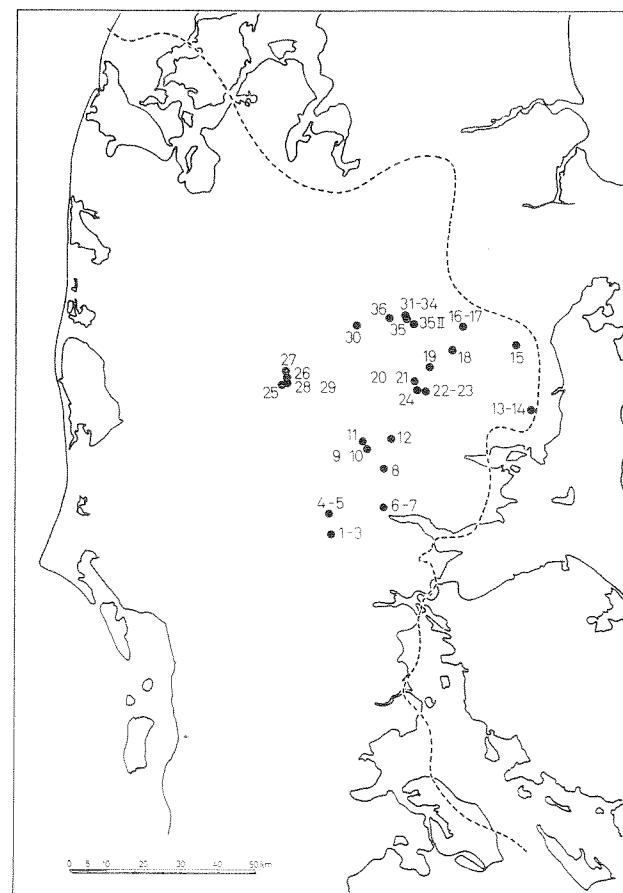


Fig. 4. Kart over Jylland. Sorte cirkler med tilhørende tal (1-36) angiver besøgte kvartssandlokaliteters beliggenhed og nr. Den stippled linje markerer øst- og nordgrænse for det miocæne aflejningsbassin.

oversigtskortet fig. 3 er den geografiske lokalisering af de flintfattige sandforekomster indmærket; det vil fremgå, at det flintfattige sand ikke er knyttet til et specielt område, men forekommer såvel i Nord- og Midtjylland som i det nordlige Sjælland. Dette kan tyde på, at der ved fortsatte undersøgelser er mulighed for at finde flintfattige forekomster adskillige steder i landet.

Tertiært kvartssand i Jylland.

I Jylland findes udbredte forekomster af tertært kvartssand. Disse materialer blev kun flygtigt berørt ved Alkaliudvalgets grusundersøgelser; af de ovenfor omtalte analyser repræsenterer øjensynlig kun een (mrk. f i fig. 2 og 3) denne sandtype; analysen viste intet flintindhold, hvilket stemmer meget godt med, hvad man ud fra geologiske betragtninger på forhånd kunne vente. Der syntes således at være muligheder for, at det jyske kvartssand repræsenterer en betydelig reserve af flintfrit evt. flintfattigt betontilslag. Da sikre oplysninger om materialernes sammensætning imidlertid var meget sparsomme, fandt SBI det påkrævet at foretage nogle undersøgelser til belysning heraf; disse påbegyndtes i 1960.

Forekomster.

Det tertære kvartssand er knyttet til det område, som på Th. Sorgenfreis kort over de danske undergrundsformationer (54 S 14) er angivet som miocæn. Der skal i denne forbindelse erindres om, at Danmark i geologisk henseende er en del af et større aflejningsbassin, som gradvis udfyldtes af sediment i løbet af kridttertærtiden. I den periode, miocæntiden, da kvartsandet aflejredes, var bassinudfyldningen øjensynlig så vidt fremskreden, at der i alt væsentligt kun foregik sedimentation i det område, som nu indtages af Syd-, Øst-, Midt- og Vestjylland, fig. 4. Muligheden for at træffe tertært kvartssand udenfor dette område skulle være ringe. Indenfor området kan man imidlertid heller ikke påregne at træffe kvartssand i tilgængelig dybde overalt, hvilket bl. a. skyldes overlejninger af istidens moræne- og smeltevandsdannelser. Kvartssandet består af kalkfrit, fint til groft sand, let kendeligt på farven, som er meget lys grå til hvidliggrå; sekundære rustudfældninger i materialet har dog en del steder tilsløret den oprindelige farve. Et andet karakteristisk træk ved sandet er forekomst af krydslejningsstrukturer, d. v. s. vekslinger mellem horisontalt lagdelte lag og lag med skrætstillet lagdeling; tilsvarende strukturer findes også i smeltevandssand.

I april 1960 undersøgte SBI 35 forekomster af kvartsand i Øst- og Midtjylland. Lokaliteterne, hvis beliggenhed er indmærket på kortet fig. 4, var udpeget af Danmarks Geologiske Undersøgelse. Det drejer sig i de fleste tilfælde om sandgrave. Undersøgelsen gav ikke mulighed for nærmere bedømmelse af forekomsternes størrelse, men det var indtrykket, at der i området findes meget betydelige reserver af kvartssand. Til brug ved bedømmelsen af sandets kvalitet indsamledes et større prøvemateriale. Undersøgelsen af dette, omfattende petrografisk analyse, humusbestemmelse samt betonteknologiske forsøg, er endnu ikke tilendebragt. Af den petrografiske undersøgelses resultater skal følgende nævnes.

Kornstørrelsesforhold.

Samtlige prøver har været underkastet en sigteanalyse. Et repræsentativt udsnit af de fremstillede korn-



Fig. 5. Større grav i tertært kvartrand (lok. 16, jvf. kortet fig. 4). I profilvæggen ses den for kvartrandet karakteristiske veksling mellem skrætstillede og næsten horisontaltliggende lag; sidstnævnte er dog svagt hældende, hvilket afspejler, at hele forekomsten er noget deformert sandsynligvis som følge af trykpåvirkning fra istidens gletschere (foto J. Jessing, maj 1960).

kurver er vist i fig. 6. Det ses, at det stejle forløb er karakteristisk for samtlige kurver, hvilket afspejler, at materialerne er meget enskornede. Denne egenskab anses almindeligvis for uheldig for sandets egnethed som beton tilslag.

En vis belysning af de regionale variationer i kornstørrelsesforholdene fås af diagrammet fig. 7, som er fremstillet på følgende måde: På et kort over lokaliteterne er indlagt en Ø-V-orienteret linie, på hvilken lokaliteterne er projiceret vinkelret ind; denne linie er benyttet som abscisse i diagrammet. For de enkelte lokaliteter er gennemsnitskornstørrelsen for hver af de undersøgte prøver afsat langs diagrammets ordinat. – Af diagrammet ses bl. a., at der i adskillige af de midt-

og østjyske forekomster findes både fine og grove lag, således at der skulle være mulighed for ved sammenblanding af materialer fra forskellige lag at fremstille betonsand med tilfredsstillende kornkurve. Denne mulighed synes derimod ikke at være til stede i de vestligste forekomster, hvor grove lag ikke er konstateret ved de her foreliggende undersøgelser. Endelig skal nævnes, at næsten alle de undersøgte prøver må karakteriseres som sandprøver; selv i de mest grovkornede er korn > 4 mm kun til stede i ringe mængde.

Petrografisk sammensætning

I prøvematerialet er kiselbjergarter i form af silicifikater konstateret; fotografiet fig. 8 viser eksempler på

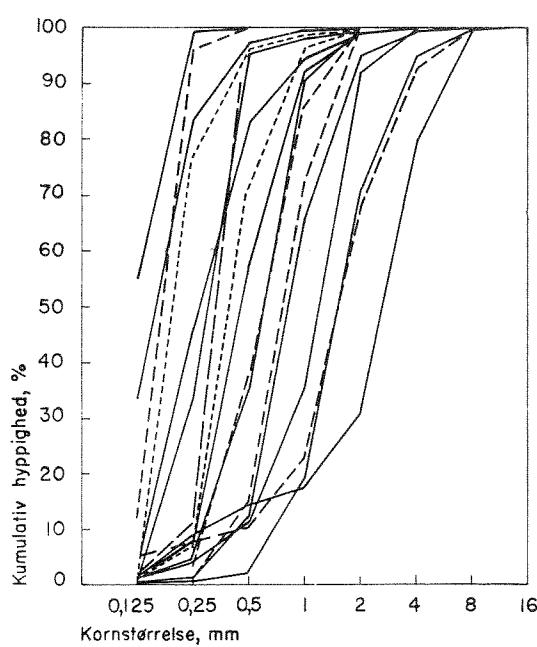


Fig. 6. Tertiært kvartrand; graderingskurver.

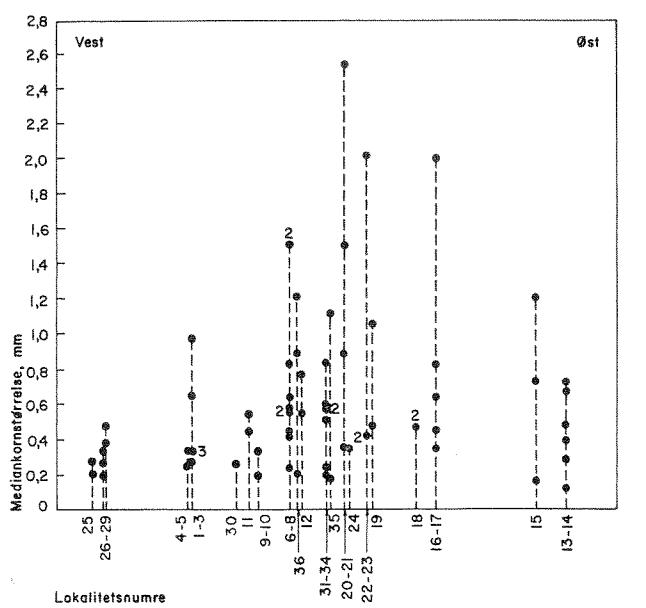


Fig. 7. Tertiært kvartrand; gennemsnitskornstørrelse for ca. 70 kvartrandssprovers angivet i relation til prøvematerialets lokalisering. Angående lokalitetsnumre se kortet fig. 4. Tal i diagrammet angiver antallet af analyser i samme punkt.

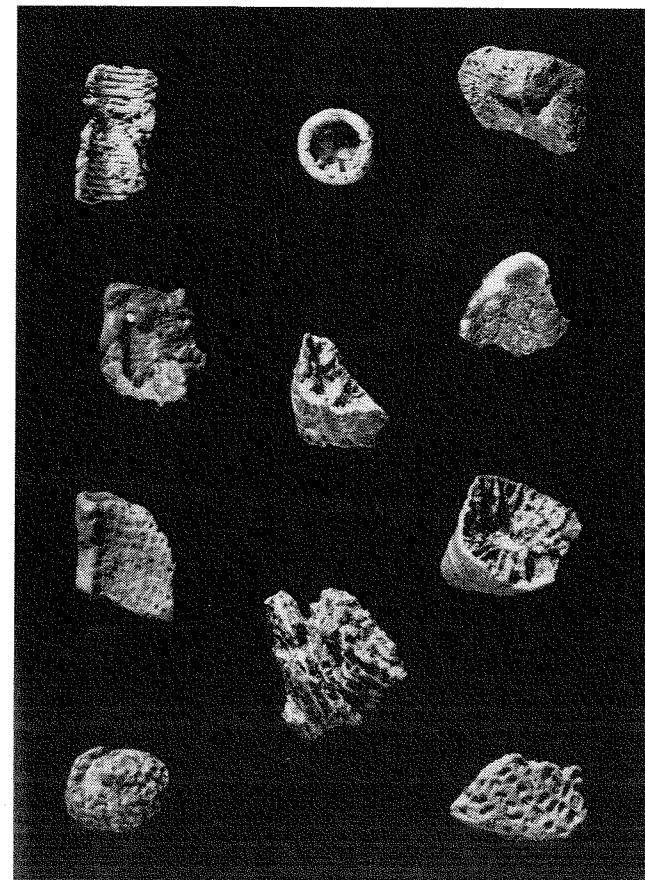


Fig. 8. Eksempler på de specielle flintbjergarter, »silicifikaterne«, som træffes i det tertære kvartrand; det drejer sig væsentlig om forsklæde organismerester, bl. a. koraller og söljler (foto B. Hjorth).

denne flinttype. Desuden forekommer eruptiver (granit- og gnejsfragmenter o. lign.), sandsten, kvartsit og mineralkorn; blandt mineralkornene er kvarts helt dominerende, medens feldspat, glimmer og tungmineraler kun findes i ganske ringe mængde. Det skal dog be-

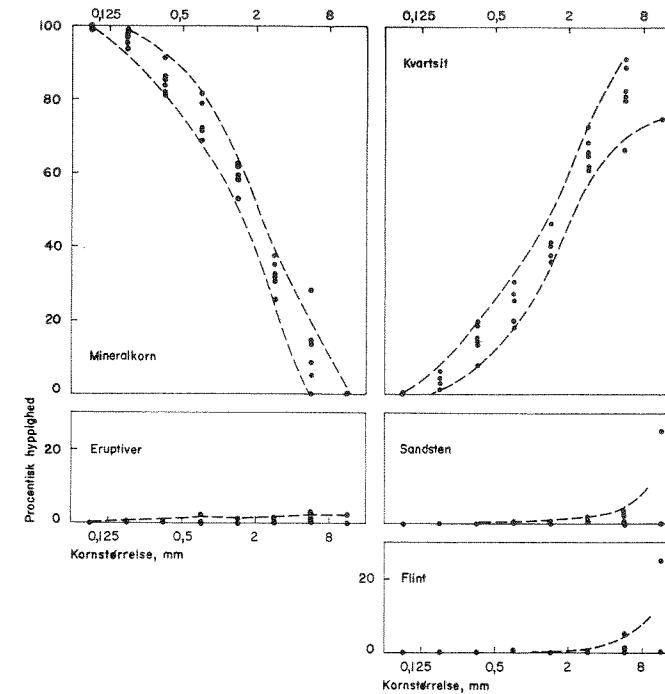


Fig. 9. Tertiært kvartrand; petrografisk sammensætning af de enkelte kornstørrelsersfraktioner i 6 prøver.

mærkes, at meget finkornede sandmaterialer kan indeholde en del glimmer.

Ovennævnte komponenters mængdeforhold er bestemt i seks prøver, udvalgt blandt de mere grovkornede materialer fra seks af de større øst- og midtjydske sandgrave (lokaliteterne 7, 14, 15, 16, 19, 21, jvf. kortet fig. 4). Årsagen til, at undersøgelsen har omfattet netop grovkornede prøver, er den, at sådanne materialer må tillægges størst betydning, når kvartrandet betragtes under en betonteknologisk synsvinkel.

Resultater af analysen er afbildet i diagrammet fig. 9, som viser hyppigheden af de forskellige komponenter i de enkelte kornstørrelsersfraktioner. Det vil heraf fremgå, at der er en næje afhængighed mellem kornstørrelse og komponenthypothese. De fremherskende bestanddele er kvartsit og mineralkorn (væsentligst kvarts), som dominerer henholdsvis de grovkornede og de finkornede fraktioner. Eruptiver og sandsten spiller mængdevise en meget underordnet rolle. Flint er praktisk taget ikke til stede i fraktioner < 4 mm; i de grovere fraktioner spores en tendens til, at flintindholdet tiltager med voksende kornstørrelse. Denne tendens er i øvrigt ved en kvalitativ besigtelse konstateret i et større antal prøver. Dette tyder på, at den »lovmaessighed« der, som tidligere nævnt, gælder for kvartrandet, nemlig at flintindholdet tiltager med kornstørrelsen, også i principippet gælder for det tertære kvartrand; der er blot den forskel mellem de to materialetyper, at flinthypothesen er langt mindre i de tertære end i de kvartræne dannelser.

De undersøgte prøvers totalsammensætning, beregnet fra fraktionsanalyser og kornkurver, er vist i følgende tabel, hvor også gennemsnitskornstørrelserne er anført.

Tabel 1. Seks kvartrandssprovers sammensætning og gennemsnitskornstørrelse.

Prøve nr.	7	14.b	15.a	16.b	19	21.b
Flint	0.1	—	—	—	0.2	0.2
Eruptiv	0.4	0.5	0.2	0.4	0.8	0.8
Kvartsit	42.6	25.4	27.5	29.9	39.3	54.2
Sandsten	0.5	0.1	—	0.2	0.5	0.6
Mineralkorn	56.4	74.0	72.3	69.5	59.2	44.2
Median (mm) ...	1.50	0.72	0.72	0.63	1.05	2.55

Det vil heraf fremgå, at kvartsit og mineralkorn (d. v. s. væsentligst kvarts) tilsammen udgør over 95 % af materialerne; betegnelsen kvartrand for disse aflejringer må derfor siges at være særlig karakteriserende. Forskellen fra prøve til prøve i forholdet mellem kvartsit og mineralkorn står i tydelig relation til

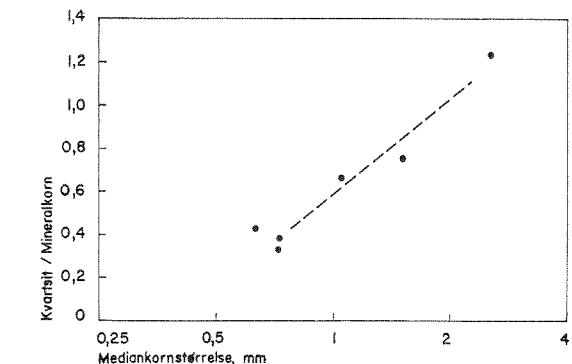


Fig. 10. Tertiært kvartrand; relation mellem gennemsnitskornstørrelse og forholdet kvartsit/mineralkorn for 6 prøver.

Tabel II. Betonteknologiske forsøg: sammenligning mellem kvartært bakkesand og tertært kvartssand.

Finhedsmodul, grus (F.M.)	Blandingsforhold mængder i kg/m³					Konsis- tens	Vibrer. 2500 Hz sec.	Forsøgsresultater																		
	Cement	Vand	Sand	skærver 5–10 mm	skærver 10–30 mm			Cylinder 1		Cylinder 2		Cylinder 3		Cylinder 4		Cylinder 5										
								Sæmål cm	Vægt. Vb	f. min	γ g/cm³	σ kg/cm²	f. min	γ g/cm³	σ kg/cm²	f. min	γ g/cm³	σ kg/cm²								
I	4.78	200	180	698	388	854	2320	~ 0	9	~ 30	8	2.340	194	6	2.335	192	5	2.330	200	4	2.335	182	8	2.335	202	194
II	5.20	389	204	450	347	935	2325	~ 4.5	9	~ 25	4	2.375	434	6	2.390	448	6	2.385	456	6	2.375	440	5	2.385	428	441
III	4.78	200	180	698	388	854	2320	~ 2	7	~ 30	7	2.345	146	7	2.330	162	7	2.325	154	6	2.310	143	5	2.315	135	148
IV	5.20	389	204	450	347	935	2325	~ 3	15	~ 40	4	2.380	310	5	2.380	340	5	2.395	325	5	2.365	301	5	2.385	328	321

I—II: kvartært bakkesand
III—IV: tertært kvartssand

f: forsøgets varighed

γ: rumvægt

σ: trykstyrke

forskellene i gennemsnitskornstørrelse, hvilket er anskueliggjort i diagrammet fig. 10.

Af undersøgelsen er iøvrigt fremgået, at materialet er kalkfrit. Flintindholdet er så lavt, 0–0,2 %, at prøverne må betegnes som flintfrie til flintfattige.

Den store lighed i petrografisk sammensætning mellem de her omtalte prøver, tyder på, når man tager i betragtning, at prøverne repræsenterer forskellige »geografiske provinser« indenfor kvartssandets udbredelsesområde, at det jyske kvartssand i det hele taget er et i petrografisk henseende meget ensartet og veldefineret materiale. Chance for at træffe forekomster med væsentlig højere flintindhold end de undersøgte prøver må derfor regnes for meget beskedent. Dog må der tages det forbehold, at såfremt der i kvartssandformationserne skulle findes væsentlig grovere lag, d. v. s. grus- og stenlag, må man, under henvisning til de »lovmaessigheder«, der er sporet i det her undersøgte materiale, regne med et større flintindhold i sådanne materialer. Egentlige grus- og stenlag er imidlertid hverken konstateret ved SBI's undersøgelser eller omtalt i den redegrørelse fra Danmarks Geologiske Undersøgelse, som dannede grundlag for SBI's feltundersøgelse. Muligheden for, at sådanne lag er til stede, må derfor anses for ringe.

Betonteknologiske bemærkninger.

De udførte undersøgelser og fremsatte betragtninger fører til den konklusion, at de jyske kvartssandsformationer øjensynlig repræsenterer en stor reserve af flintfrie til flintfattige sandmaterialer. På grund af denne egenskab må kvartssandet antages at kunne få stor betydning som finkornet tilslag ved støbning af beton i omgivelser, som erfaringsmæssigt giver stor risiko for alkalikiselvorvitring.

Med hensyn til kornstørrelsesfordeling er sandet i genlunde et ideelt tilslagsmateriale, men som nævnt skulle der i adskillige af forekomsterne være mulighed for at fremstille et materiale med egnet gradering ved sammenblanding af sand fra forskellige lag. Hertil skal føjes, at også de forekomster, som kun indeholder finkornet sand, udmarket kan tænkes at få betonteknologisk betydning; der tænkes her på den mulighed eventuelt at anvende sådanne materialer som tilslag til almindelig, flintholdigt kvartssand med det formål at sænke totalsandets flintprocent.

Hvorvidt kvartssandet også i andre henseender end de her omtalte er velegnet som betontilslag er spørgsmål, som søges belyst ved betonteknologiske forsøg. Disse er endnu ikke ført til ende, men til orientering skal det foreløbige resultat af trykstyrkeforsøg kort omtales.

Forsøget er udført på Laboratoriet for Bygningsteknik, DTH. Der benyttedes sand fra lok. 16 (fig. 4) og til sammenligning et kvartært bakkesand; de to materialers gradering var af nogenlunde samme type; petrografisk afveg kvartærandsandet fra det tertære især ved at indeholde ret meget flint og kalk (22 % CaCO₃ ifølge kemisk analyse). Som groft tilslag benyttedes knust granit. Prøvelegemer (cylindre, d = 15 cm, h = 30 cm) støbtes med Rapid cement; for hver sandsort benyttedes to forskellige cementindhold hhv. ca. 200 kg/m³ og ca. 400 kg/m³; hver serie omfattede 5 cylindre. Under fremstillingen af prøvelegemerne bemærkedes, at betonen med det tertære sand var vanskeligere at udstøbe end dem med kvartært sand. Efter 14 dages lagring bestemtes rumvægt og trykstyrke. I tabel II er blandingsforhold m. m. samt forsøgsresultater meddelt. Det vil heraf fremgå, at for kvartssand er cylindertrykstyrken ca. 25 % lavere end for det kvartære sand.

Tertiærandsbetonens lave styrke kan næppe skyldes, at dette sands bestanddele er svagere end kvartærandssets; dominansen af kvarts og kvartsit i tertærandsset (fig. 9, tabel I) tages som udtryk for, at dette i fysisk henseende er et særligt stærkt og sundt materiale. Årsagen er snarere den, at cementpastaens vedhæftning til sandkornene er svagere i det tertære end i det kvartære sand. Den mulighed har været undersøgt, om der på overfladen af kvartssandets korn skulle findes belægning, som hindrede en effektiv binding mellem korn og pasta. En sådan belægning har imidlertid ikke kunnet konstateres hverken ved mikroskopisk granskning eller ved kemiske afvaskningsforsøg; disse undersøgelser har tværtimod vist, at kornoverfladen var meget ringe.

Et andet forhold, der formentlig kan spille ind, er partikeloverfladernes føthed og glathed, idet man kan forestille sig, at porøse, ru overflader giver bedre pasta-adhæsion end tætte, glatte overflader. Kalksten, som udgør en væsentlig del af kvartærandsset, vil i almindelighed være mere porøs og mindre glat end kvarts og kvartsit, som er de fremherskende elementer i tertærandsset. I denne sammenhæng skal følgende bemærkning i E. Suenson, »Natursten«, p. 246 (42 S 6) refereres: »Kalkrigt Sand kan give Cementmortel en større Bevindelsesstyrke end kvartsrigt, men Forskellen forsvinder under den videre Hærdning.«

Det er muligt, at man i partiklernes overfladeforhold har svaret eller en del af svaret på spørgsmålet om årsagen til kvartssandbetonens relativt lave styrke. Forholdene er dog endnu ikke nojere udforsket, og fortsatte studier må derfor afventes, for der kan tages nærmere stilling hertil.

Sluttelig skal understreges, at det refererede forsøg har været af orienterende art; det er tanken at lade dette forsøgs resultater samt overvejelserne over årsagen til de fundne resultater danne udgangspunkt for en mere omfattende forsøgsrække til belysning af det tertære kvartssands betonteknologiske egnethed.

Årsagen til kvartssandets lave flintindhold.

Som nævnt er det tertære kvartssands flintindhold langt mindre end kvartærmaterialernes. Årsagen hertil må søges i de to materialetypers forskellige geologiske forudsætninger.

I kvartærtiden førte isgletschere materialer fra Skandinavien bl. a. til det danske lavlandsområde; her eroderede isen kraftigt i de øverste undergrundsformationer, bl. a. kalk- og kridtlagene, og optog herved store mængder af lokale materialer, især kalk og flint, som i moræne- og smeltevandsdannelser blev aflejet sammen med de skandinaviske materialer. Størsteparten af kvartærgrusets flint er af samme petrografiske type som flintforekomsterne i de faststående kalk- og kridtformationer.

I den forudgående tertærperiode foregik der ligeledes transport af materialer fra Skandinavien til det danske aflejningsbassin; efter alt at dømme blev transporten udført af flodløb. Disse har ikke haft tilnærmede samme mulighed for omfattende erosion i de danske undergrundsformationer (herunder de flintrørende kalk- og kridtlag) som isen havde. Denne situation kan forklare det for kvartssandet så karakteristiske lave flintindhold og manglende kalkindhold. Yderligere skal nævnes, at den overvejende del af kvartssandets flinthjærgarter (silicifikaterne) tilhører typer, som ikke kendes fra faststående danske undergrundsformationer, men derimod fra ældre formationer bl. a. i Østersøområdet, d. v. s. i et område svarende til et proximalt afsnit af det tertære flodsysten, hvor erosionskraften formentlig har været betydelig.

Den opfattelse, at floder har formidlet materialetransporten i tertærtiden kan også forklare det forhold, at udpræget grove lag ikke er konstateret i det jyske kvartssand. I floder foregår der jo i principippet det, at de meget grove materialer kun transportereres en relativt kort strækning før de aflejes på bunden eller sørderdeles og nedslides og føres videre som mere finkornede bestanddele. De til kvartssandet økvivalente stenformationer må derfor antages at være aflejet i den øvre del af flodsystemerne, d. v. s. udenfor det danske område. Sådanne stenaflejringer kan dog næppe påvises i dag på grund af kvartærtidens iserosion. De her fremførte betragtninger understøtter det tidligere nævnte, at chanceen for at finde egentlige sten- og gruslag i det jyske kvartssand er meget ringe.

Sydøstfynsk kvartssand.

Forekomster.

I beskrivelsen til de geologiske kortblade over Sydfyn omtaler K. Milthers (59 M 9) en række forekomster af lyst kvartssand. Disses beliggenhed er her indmærket på kortet fig. 11. Af kortbladsbeskrivelsen fremgår bl. a., at kvartssandsforekomsterne findes indlejret i kvartærdannelserne, idet istidsaflejringer træffes både over og under kvartssandet. Tager man yderligere i betragtning, at Th. Sorgenfrei's undergrundskort angiver, at lagene ved basis og istidsdannelserne i dette område består af ældre tertære (paleocæne og eocæne) lerformationer samt kalklag fra kridttiden (danien), vil det forstås, at det ikke er umiddelbart indlysende, at det sydøstfynske kvartssand tilhører samme aflejringssystem og aflejningsperiode som det jyske. Man kan dog ikke på forhånd være sikker på, at erfaringerne vedrørende det jyske kvartssands sammensætning og egenskaber også har gyldighed for de sydøstfynske forekomster. SBI har derfor planlagt men endnu ikke genemført en nærmere undersøgelse af det sydøstfynske kvartssand.

Sammenligning med det jyske kvartssand.

Der er øjensynlig både

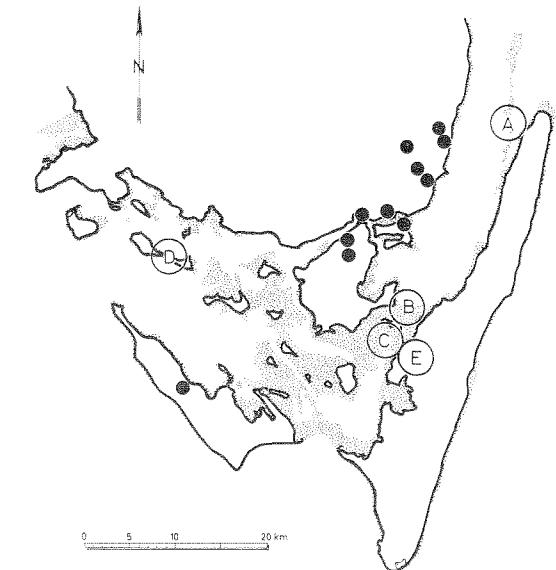


Fig. 11. Kort over Sydfyn med omliggende øer. Skravering angiver havbandsområder med vanddybde mellem 0 og 4 m. Sorte cirkler markerer forekomster af kvartssand iflg. litteraturen (59M9). Åbne cirkler med betegnelserne A, B, C, D markerer lokaliteter for undersøgte prøver af undervante kvartssand; lok. E er en kvartær bakkesandforekomst.

En orienterende analyse af materiale fra en enkelt forekomst er dog allerede udført. Det drejer sig om et par prøver, som cand. mag. A. V. Nielsen fra Danmarks Geologiske Undersøgelse har stillet til rådighed; prøverne stammer fra den nordligste af de på kortet fig. 11 viste lokaliteter; stedet besøges af Dansk Geologisk Forening på en ekskursion sommeren 1962 (63 N 1).

Kornstørrelse.

Begge prøver har været underkastet en sigteanalyse. Resultatet er vist i diagrammet fig. 12. Heraf ses, at materialet består af finkornet og enskornet sand; gennemsnitskornstørrelsen er 0,25 og 0,31 mm. Endvidere fremgår, at kornfordelingen er meget nær normal. En sammenligning viser, at kornkurverne til forveksling ligner det jyske kvartssands.

Petrografisk sammensætning.

En kvantitativ petrografisk analyse er udført på den groveste af prøverne. Følgende tabel III viser resultaterne dels af fraktionsanalyserne og dels af den beregnede totalsammensætning.

Det ses, at materialet er flintfattigt; flinten er ganske overvejende tæt, kun enkelte partikler indeholder porøst materiale; der er ikke konstateret organismestruktur i flinten. Mineral-kornene, der helt dominerer prøven, består væsentligst af kvarts. Betegnelsen kvartssand er derfor i god overensstemmelse med de petrografiske forhold. Det bemærkes iøvrigt, at sandet, ifølge analysen, er kalkfrit.

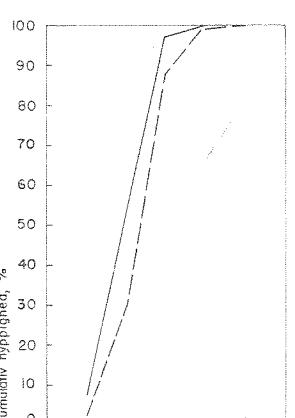


Fig. 12. Sydøstfynsk kvartssand; graderingskurver for prøver fra nordligste lokalitet på kortet fig. 11.

Tabel III.
Petrografisk sammensætning. Kvartssand, SØ-Fyn.

	Kornfraktioner (mm)				Total
	0-1/8	1/8-1/4	1/4-1/2	1/2-1	
Flint	—	—	0,7	6,0	1,4
Sandsten + kvartsit	—	—	3,0	7,7	2,8
Eruptiver	—	—	0,3	0,7	0,3
Mineralkorn ...	100	100	96,0	85,6	95,5

lighed og forskel mellem det synfynske og det jydske kvartssand. Forskellen er især den, at det sydfynske materialets flintindhold, selv om det er lavt, tilsyneladende er betydelig højere end det jydske kvartssands. Af ligheder kan nævnes, at begge aflejringers farve er hvidlig til hvidliggrå, at deres korngradering er af samme type: stejl, s-formig kurve, samt at de er kalkfrie. Ved disse karakterer afgiver kvartssandet fra det kvartære sand.

Geologisk bedømmelse.

Da lighederne mellem de to kvartssandsaflejringen, ifølge disse foreløbige undersøgelser, synes at være mere udtalte end forskellene, findes det rimeligt indtil videre, at opfatte det sydfynske kvartssand som aflejringsmæssigt sammenhørende med det jydske. Det større flintindhold i det fynske sand kan eventuelt være fremkommet ved »forureningen« fra kvartærmaterialerne under de processer, hvorefter kvartssandet er blevet indlejet i istidsformationerne.

Ifølge det geologiske undergrundskort er det fynske kvartssand som nævnt beliggende noget øst for det miocene aflejningsbassins østrand. Man må tillige regne med, at kvartssandet oprindeligt har haft en endnu østligere beliggenhed, idet de isgletschere, som har disloceret og indlejet materialet i kvartærsenet, efter alt at dømme har bevæget sig ind over området fra Ø, SØ eller NØ. Ifølge disse forhold kan det sydfynske kvartssands samhørighed med det jyske tilsyneladende bedst forklares ved den antagelse, at det fynske sand repræsenterer rester af flodterrassedannelser eller andre tilsvarende aflejring fra flodsystemer, som i tertiærtiden førte materiale fra det skandinaviske område til det jydske aflejningsfelt.

Betonteknologisk betragtning.

Kvantssandet må påregnes at have en vis betonteknologisk interesse på grund af, at det er flintfattigt. På den anden side må sandets graderingsforhold anses for at være uhældig for dets anvendelighed som betonsand. Det er dog muligt, at materialet med fordel kan benyttes som tilslag på samme måde som nævnt under omtalen af det jydske kvartssand.

Det skal bemærkes, at denne vurdering af kvartssandets egnethed er foreløbig, da den kun støtter sig på en enkelt lokalitets vidnesbyrd om materialets beskaffenhed. Resultater af fortsatte studier over de sydfynske forekomster må afventes, før nærmere vurdering af brugbarheden som betontilslag kan fremsættes.

Havbundsmaterialer, sydfynske farvande.

Medens undersøgelsen af det tertære kvartssand iværksattes på SBI's eget initiativ, har laboratoriet analyser af materialer fra det sydfynske havområde været udført på konsultationsbasis.

Ved opførelsen af en større marin betonkonstruktion var der, bl. a. med baggrund i visse æstetiske krav til konstruktionen, ønske om at støbe med almindelig Portland cement; for at reducere den risiko for skadelige alkaliselreaktioner, anvendelse af denne cementtype i et marint miljø indebærer, ønskedes benyttet et

tilslag med lavt flintindhold (< 2%). Under bestræbelserne på at lokalisere egnede grusforekomster blev der til SBI indsendt prøver til petrografisk undersøgelse.

Det skal straks nævnes, at det ikke lykkedes at finde naturlige stenaflæjninger med lavt flintindhold; ved betonfremstillingen var man derfor henvist til at benytte granitskærer som groft tilslag. Derimod fandt man frem til naturlige aflejninger af flintfattigt sand.

Efter forekomsternes lokalisering blev der med jævnlig mellemrum under betonarbejdets udførelse indsendt prøver af sandet til analyse for at få kontrolleret, om flintindholdet fremdeles lå under 2%. Vi har således her et velgennemført eksempel på, at betonkontrollen har været udstrakt til også at omfatte tilslagets petrografiske sammensætning.

Prøvematerialets lokalisering.

Næsten alle undersøgte sandprøver stammer fra havbunden i farvandet syd og øst for Fyn, hvor materialet blev opsuget af stenfiskerfartøjer. De enkelte prøveudtagningssteders nøjagtige position kendes desværre ikke i alle tilfælde; ofte er kun tilnærmede angivelser af forekomstområderne meddelt. Disse områder er indtegnet på kortet fig. 11.

Til lokalitet »A« er henført 11 prøver betegnet »Smørstakken« og »Lohals«. Lokaliteten er beliggende på en undersøisk ryg, som strækker sig fra det nordlige Langeland over Sprogø til Sjælland (Korsørgen); denne ryg opfattes som en israndsdannelse, opstået ved et fremstød af en gletscher fra Østersøområdet i slutningen af istiden. - Rekvisiten har for en enkelt af prøverne (A-9) meddelt den nøjagtige position, som udtrykt i det geografiske E. D.-system er: Bredde $55^{\circ} 08' 24''$, længde $10^{\circ} 53' 15''$. 08. Indmålingen udførtes med teodolit fra G. I.-fikspunkter på Langeland, idet skibet indmålt samtidig med, at det sugede sand. For 7 andre prøver er lokaliseringen i forhold til det indmålte punkt meddelt; det drejer sig om følgende:

- A-5 : 50 m mod N
- A-7 : 150 m mod N
- A-4 : 300 m mod N
- A-11: 300 m mod N
- A-2 : 350 m mod N
- A-3 : 650 m mod N
- A-6 : 200 m mod VNV.

Iovrigt er oplyst, at samtlige indsendte prøver med undtagelse af A-6 er opsuget på østsiden af revet, som nordfra går ned mod øst-vest indløbet til Lohals; vanddybden, hvor sandet er fisket, er 3-4 m. Om materialet på revets vestside oplyses, at det er for groft til anvendelse som støbesand.

Fra område »B« (»Navergrund«) foreligger en prøve, som menes at være suget op fra grunden ved kanten af den N-S gående sejlrende. Lokalitet »C« er et område »vest for Rudkøbing løb, syd for Sø«; repræsenteret ved to prøver taget på 2-3 m vand vest for sejrenden ud for Rudkøbing havn. Prøve D-1 stammer fra havbunden ud for Korsør, Avernakø. Endelig er der fra en lokalitet (»E«) med kvartære bakkematerialer ved Eskebjerg i nærheden af Rudkøbing på Langeland indsendt en prøve af fillersand.

Kornstørrelsesforhold.

Sandprøvernes kornkurver er vist i diagrammerne fig. 13 og 14.

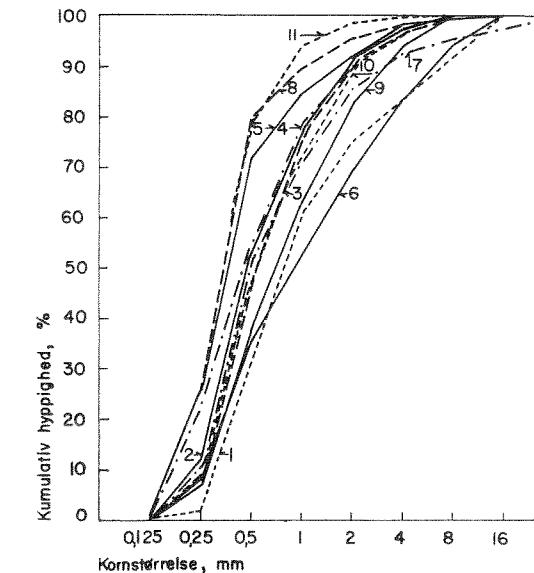


Fig. 13. Sydfynsk havbundssand; graderingskurver for 11 prøver fra lok. »A« (se fig. 11).

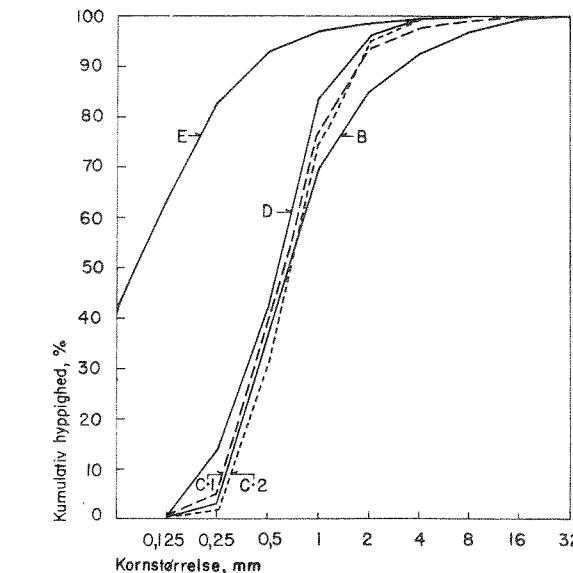


Fig. 14. Sydfynsk havbundssand m. v.; graderingskurver for prøver fra lok. »B«, »C«, »D«, »E« (se fig. 11).

Prøverne fra lok. »A« er indbyrdes noget forskellige hvad korngraderingen angår; men der spores dog et vist fælles præg, nemlig det, at kurveforløbet er stejlest i intervallet $1/4-1/2$ mm., samt at graderingen er ret jævn i de grovere fraktioner. Diagrammet afspejler iøvrigt, at der er en tendens til, at kurveformen bliver »fladere« med stigende gennemsnitskornstørrelse.

Prøverne fra »B«, »C« og »D« har indbyrdes meget

ensartede kornkurver; disse er stejle i intervallet $1/4-1$ mm., og »flader« jævt ud i de grovere fraktioner. Fillersandets (lok. »E«) gradering er jævn og tilnærmedesvis normal indenfor fraktionerne $> 1/16$ mm.

En sammenligning viser, at der er en karakteristisk forskel mellem de her omtalte kurver og hovedparten af kvartssandets, idet sidstnævnte ikke udviser »jævn gradering« i de grovere fraktioner.

Petrografisk sammensætning.

En mikroskopisk undersøgelse har vist, at alkali-reaktive bjergarter er til stede i materialet i form af forskellige flinttyper. Det drejer sig dels om tæt flint, overvejende af grålig til sort farve, og dels om porøs, hvidlig flint; porøs flint findes ofte som overfladelag eller »skappe« på tætte flinter. Disse flinttyper svarer nøje til de typer, man finder i andre kvartære aflejninger i Danmark; de er oprindelig hjemmehørende i den danske undergrunds kalk- og kridtlag.

Af alkaliinaktive komponenter er følgende konstateret: kalk (CaCO_3), sandsten, eruptiver, mineralkorn. Kalken findes ganske overvejende i form af skaller og skalresten af muslinger og snegle; egentlige kalkstensbrudstykker er ret sjældent forekommende. Sandsten er til stede som brudstykker dels af finkornede, grålige til grønlige, glauconitholdige, lagdelte bjergarter og dels af mere grovkornede, grålige til rødlige typer; desuden er enkelte kvartsitiske sandsten iagttaget. Eruptiver er væsentligst repræsenteret ved granitiske bjergarter. Blandt mineralkornene er kvarts hyppigst forekommende, men desuden findes en del feldspat samt i de fin-kornede fraktioner tungmineraler.

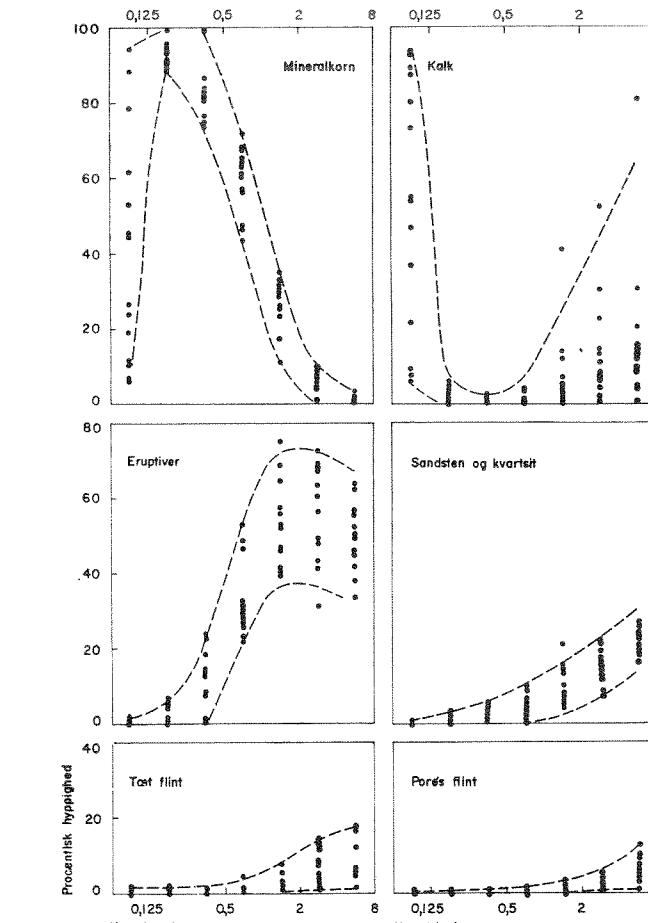


Fig. 15. Sydfynsk havbundssand; kornstørrelsesfaktionernes petrografiske sammensætning.

Tabel IV. Fillersand fra lok. »E«; procentisk sammensætning af kornfaktionerne.

	Kornstørrelsesfaktioner (mm)							
	0-1/16	1/16-1/8	1/8-1/4	1/4-1/2	1/2-1	1-2	2-4	4-8
Tæt flint ...	—	—	—	1,0	1,3	3,2	10,5	
Porøs flint .	—	—	—	0,7	3,6	12,7	3,6	
Kalk	44,7	35,7	12,3	11,6	12,7	12,7	17,5	
Sandsten + kvartsit ..	—	0,3	3,0	7,7	4,0	14,3	36,9	
Eruptiver ...	—	—	2,0	12,0	29,0	36,5	28,0	
Mineral-korn	55,3	64,0	82,7	67,0	49,4	20,6	3,5	

Diagrammet fig. 15 afspejler både lovmaessigheder og variationer i materialets sammensætning. Det mest iøjnefaldende træk er, at indholdet af mineralkorn aftager med stigende kornstørrelse fra 1/8 mm., medens de andre bestanddele, d. v. s. bjergartsfragmenterne, som helhed tager til i hyppighed. Tilsvarende lovmaessighed er tidligere konstateret dels i andre kvartære dannelser dels i det tertiære kvartssand, sml. fig. 9.

Indholdet af tæt og porøs flint er meget lavt og ensartet i fraktionerne < 1 mm; i de grovere fraktioner gør der sig en betydelig stigning i flintindholdet gældende. Det bemærkes, at stigningen i flinthyppigheden i den groveste fraktion modsvares af en nedgang i indholdet af eruptiver.

Faktionen 0—1/8 mm afviger fra den almindelige tendens, ved at indholdet af mineralkorn er relativt lavt og underkastet store variationer; tilsvarende er kalkindholdet højt og stærkt varieret. Medens kalken i de grove fraktioner væsentligst består af muslinge- og snegleskaller, er den finkornede kalk næsten udelukkende til stede som nåle af CaCO_3 ; det skal bemærkes, at lignende fibrøst kalkmateriale tidligere er konstateret i havbundsaflejringer i Præstø fjord og Kolding fjord (44 H 10). Muligvis er denne kalktype opstået ved nedbrydning af kalkskaller.

Langt den overvejende del af sandsten og kvartsit, eruptiver og mineralkorn stammer fra skandinaviske udgangsmaterialer, medens flinten som nævnt oprindeligt er hjemmehørende i den danske undergrund. I sandet er alle disse bestanddele aflejningsmæssigt »sammenhørende«, idet de er blevet sammenblandet ved isgletschers og senere geologiske agentiers virksomhed. I modsætning hertil er hovedparten af kalken, nemlig muslinge- og snegleskallerne, tilført sandmaterialet efter at dette er blevet placeret på havbunden. Dette forhold, at kalkskallerne aflejningsmæssigt er en slags »fremmede« bestanddele i sandet, er antagelig forklaringen på, at de største variationer i materialets sammensætning tydeligvis er knyttet til kalkindholdet.

Prøvernes totalsammensætning beregnet fra fraktionsanalyser og kornkurver er angivet i tabel V; her er tillige anført mediankornstørrelsen for hver prøve.

Det vil af tabellen fremgå, at ni af de elleve prøver fra lok. A kan betegnes flintfattige, idet de indeholder ≤ 2% flint. Fra de andre havbundsforekomster har kun een af de fire prøver et så lavt flintindhold. Yderligere ses, at fillersandets indhold af flint er ringe (0,8%).

Den under omtalen af fraktionsanalyserne nævnte sammenhæng mellem kornstørrelse og komponenthypothese spores også i tabel V's data.

Forholdet mellem totalprøvernes flintindhold og mediankornstørrelsen er illustreret i fig. 16. Heraf ses, at lok. A's prøver med en enkelt undtagelse falder i et

Tabel V. Procentisk sammensætning af totalprøverne.

Lokalitet	A							
	Pr. nr.	1	2	3	4	5	6	7
Tæt flint ..	1,5	1,6	3,8	0,6	1,8	1,1	0,8	0,5
Porøs flint .	0,4	0,3	1,0	0,5	0,5	0,7	0,1	0,4
Kalk	4,7	4,4	3,8	8,0	3,8	1,7	4,3	4,1
Sandsten + kvartsit ..	5,2	3,7	6,7	5,3	13,8	11,2	4,5	4,2
Eruptiver ..	31,8	29,2	24,8	22,4	31,1	22,7	19,8	16,9
Mineral-korn	56,4	60,8	59,9	63,2	49,0	62,6	70,5	73,9
Median (mm)	0,79	0,46	0,54	0,46	0,92	0,49	0,36	0,38

Lokalitet	A			B		C		D		E	
	Pr. nr.	9	10	11	1	1	2	1	1	1	1
Tæt flint ..	0,9	0,6	0,6	3,7	1,3	1,4	1,6	0,4			
Porøs flint .	1,1	1,1	0,7	1,3	1,7	0,4	0,7	0,4			
Kalk	2,3	2,4	4,3	0,3	1,8	2,2	0,2	30,4			
Sandsten + kvartsit ..	4,4	4,7	1,2	7,8	2,1	7,7	1,6	2,6			
Eruptiver ..	42,5	35,3	10,6	30,4	48,1	27,0	20,9	4,1			
Mineral-korn	48,8	55,9	82,6	56,5	45,0	61,3	75,0	62,1			
Median (mm)	0,70	0,54	0,38	0,66	0,67	0,61	0,56	0,084			

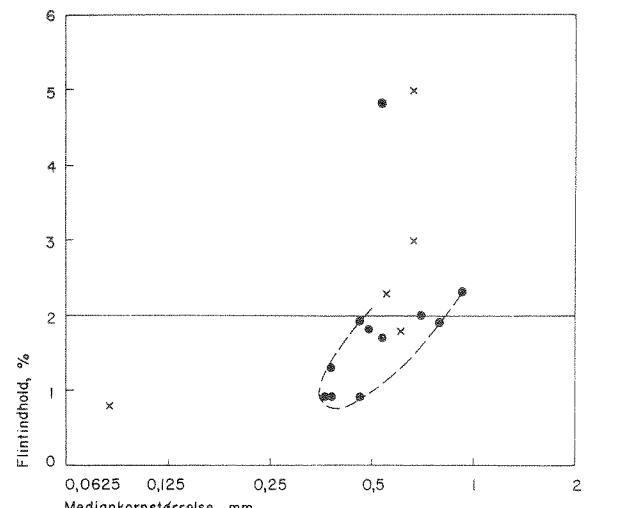


Fig. 16. Sydfynsk havbundssand m. v.; relation mellem totalprøvernes flintindhold og gennemsnitskornstørrelse. ●: prøver fra lok. »A«; ✕: prøver fra lok. »B«, »C«, »D«, »E« (se fig. 11).

veldefineret område af diagrammet; for dette område kan relationen mellem kornstørrelse og flintindhold angives således:

Mediankornstørrelse	Flintindhold
< ca. 0,5 mm	< 2%
ca. 0,5—ca. 0,8 mm	≤ 2%
> ca. 0,8 mm	> 2%

Denne relation kan dog ikke anses for karakteristisk for lok. A som helhed, hvilket bl. a. fremgår af, at en enkelt af lokalitetens prøver (A-3) falder langt udenfor det omtalte område i diagrammet. Det skal bemærkes, at A-3 ifølge foreliggende oplysninger er den nordligste prøve fra lok. »A«.

Af diagrammet fremgår yderligere, at to af prøverne fra de andre havbundsforekomster falder indenfor ovennævnte område. Dette tyder på, at der flere steder i det sydfynske øhav kan findes sandaflejringer med flintindhold svarende til de flintfattige prøver fra lok. A.

Fillersandets flintindhold er som nævnt lavt (0,8%), men tager man kornstørrelsen i betragtning (fig. 16), ser det ud til, at fillersandet nærmest må paralleliseres med de mest flintrige af de undersøgte havbundsmaterialer.

Endelig skal nævnes, at der under arbejdet med at lokalisere egnede betonsandsforekomster blev undersøgt en prøve af havbundssand fra Samsø-området. Prøvens totale flintindhold var 13,5%; mediankornstørrelsen: 0,67 mm. Altså et materiale med en helt anden sammensætning end det sydfynske havbundssand.

Stenforekomster.

De ovenfor refererede undersøgelser omhandlede udelukkende sandaflejringer. Enkelte prøver af stenmaterialer fra det sydfynske område har været inddraget i undersøgelsen. Som allerede nævnt viste de sig at have et betydeligt flintindhold; dette kunne i øvrigt på forhånd ventes, jvf. fig. 2. Analyseresultaterne er vist i følgende tabel VI.

Tabel VI. Petrografisk sammensætning af stenmaterialer.

Pr. nrk.	a	b	c	d
Tæt flint	62,9	49,7	64,9	13,3
Porøs flint	1,6	16,5	1,8	8,7
Kalk	2,4	—	—	3,7
Sandsten + kvartsit	8,5	10,6	8,3	20,5
Eruptiver	24,0	23,2	25,0	53,4
Mineralkorn o. a.	0,6	—	—	0,4
Median (mm)	17,3	16,5	18,0	11,2

Prøverne a, b, c stammer fra Æro-området, prøve d fra det sydlige Langeland.

Beton teknologisk betragtning.

Undersøgelsen har vist, at der i de sydfynske farvande findes flintfattig havbundssand; ifølge de foreliggende erfaringer skulle dette sand kunne anvendes som betontilslag ved støbning af marine konstruktioner med alm. Portland cement uden nævneværdig risiko for udvikling af skadelige alkalikiselreaktioner, dog under forudsætning af, at det benyttede stenmateriale er inaktivt. Af undersøgelsen er imidlertid også fremgået, at variationen i flintindholdet er betydelig; af denne grund må det tilrådes ved fremtidige anvendelser af sandet som tilslag ved støbning af udsatte betonkonstruktioner at lade flintindholdet kontrollere ved petrografisk analyse i hvert enkelt tilfælde.

Om sandet også i andre henseender er særlig velegnet til betonstøbning har det ikke været opgaven at belyse ved de her refererede undersøgelser, men spørgsmålet er søgt oplyst ved en henvendelse til rekvirenten (Svendborg Amts Vejvæsen), som har meddelt, at det var sandet fra lok. »A«, som blev benyttet ved betonstøbningen. Rekvirenten gør endvidere gældende, at dette sand ikke har været særlig ensartet; i forhold til idealkurver har det i reglen haft for stort gennemfald på 0,5, 1,0, 2,0 mm sigterne og undertiden tillige på 0,25 mm sigterne. For at bøde på det forhold, at sandet kun har indeholdt 1% eller mindre under 0,125 mm, tilsattes filler i form af granitsstov. Ved beton med stor tilsetning af cement (400 kg/m^3) anvendtes dog

ikke filler. Rekvirenten konkluderer, at ifølge hidtidige erfaringer er sandet fra lok. »A« egnet til betonstøbning.

Om årsagen til sandets lave flintindhold.

Et karakteristisk træk ved hovedparten af sandprøverne er, at fraktionerne $< 1 \text{ mm}$ kun indeholder ubetydelige mængder af flint; dette kombineret med, at materialet $< 1 \text{ mm}$ udgør hovedparten af sandet, bevirket, at flintindholdet bliver lavt i totalprøverne.

Årsagen til, at flinthyppigheden i fraktionerne $< 1 \text{ mm}$ er ringe, og ringere end i hovedparten af andre undersøgte kvartærmaterialer, må formentlig søges i de lokale geologiske forhold.

En mulig forklaring er, at aflejringerne i det område, isgletscherne har passeret, ikke har givet noget væsentligt tilskud af flint til morænematerialerne. Det skal i denne forbindelse nævnes, 1) at isen i det her

Afsluttende betragtninger.

Gennem de i rapporten refererede undersøgelser er kendskabet til forekomster af flintfattigt sand udvidet betydeligt; sådanne forekomster kendes nu fra såvel Nord-, Øst- og Midtjylland som fra det sydlige Fyn og det nordlige Sjælland (fig. 17). De hidtil indvundne erfaringer tyder endvidere på, at der ved fortsat indsats på udforskningen af de danske sandaflejringeres petrografiske beskaffenhed skulle være mulighed for at lokalisere endnu flere forekomster af sand med lavt flintindhold. – Ved petrografisk undersøgelse af forekomster på land har man til støtte for vurderingen af materialet en ret detailleret viden om de geologiske forhold, bl. a. fra resultaterne af den geologiske kortlægning, som udføres af Danmarks Geologiske Undersøgelse. For havbundsaflejringeres vedkommende foreligger ikke en tilsvarende viden om geologien, hvilket i høj grad vanskeliggør vurderingen af undersøgte prøvers repræsentativitet og dermed analyseresultaternes rækkevidde; bl. a. af denne grund må man med interesse se frem til, at den systematiske, geologiske kartering bliver udstrakt til at omfatte havbunden i de danske farvande.

Nogle af de flintfattige sandforekomster må påregnes at have et stærkt varieret indhold af flint; dette er således konstateret i det sydfynske havbundssand. Ved fremtidige udnyttelser af »flintfattigt betonsand« fra sådanne forekomster må det derfor tilrådes, at flintindholdet kontrolleres i hvert enkelt tilfælde.

Medens flintfattigt sand, som nævnt, kendes fra en række forekomster, må alle hidtil kendte stenaflejringer betegnes flintrige. Yderligere må det, ifølge den lovmaessighed, der gør sig gældende i forholdet mellem flinthyppighed og kornstørrelse, indtil videre anses for lidet sandsynligt, at naturlige stenforekomster med lavt flintindhold skulle forekomme her i landet.

Sluttelig skal nævnes, at de analyse- og forsøgsresultater, som angiver alkali-kisel-forvitningsfarens afhængighed af flinthyppighed og cementtype, er foreløbige. Fortsatte studier på dette felt må derfor anses for påkrævet bl. a. for klarlæggelse af, om det er hensigtsmæssigt fremtidigt at investere i en efterforskning af flintfattige betontilslagsmaterialer.

Summary.

The main part of Danish concrete aggregates contains considerable amounts of flint (fig. 2); due to the alkali solubility the flint may give rise to serious alkali-silica weathering of the concrete (fig. 1). By means of the mortar bar tests method the Danish Committee on Alkali Reactions in Concrete (1954–59) has found, that risk for harmful reactions is present when sand containing more than 2 per cent flint is used together with ordinary Portland cement. Therefore one of the ways to avoid harmful reactions consists in using flint-poor aggregates; and consequently studies on and locating of suitable aggregates are undertaken. The Danish National Institute of Building Research takes part in this work by petrographic determinations of flint content in samples of gravel and now and then by collecting samples for analyses. The temporary results of this work are described in the present paper. Sands with less than 2 per cent flint have been found in Middle and East Jylland, SE Fyn and in the sea bottom S and E of Fyn. The material in Jylland is Tertiary quartz-sand (localities : fig. 4; grain size: fig. 6, 7; petro-

graphic composition : fig. 9, 10, table I); evidently the content of flint in these sands does not exceed 0,2 per cent. – The sand from SE Fyn is quartz-sand, possibly of Tertiary age (localities : fig. 11; grain size : fig. 12; petrographic composition : table III). – The materials from the sea bottom S and E of Fyn are Quaternary deposits, but possibly mixed with Tertiary quartz-sand (localities : fig. 11; grain size : fig. 13, 14 ; petrographic composition : fig. 15, 16, table V); 11 of the 16 samples investigated were found to be poor in flint. Still, a comprehensive work has to be done before the flint-poor sand deposits in this area have been satisfactory encircled. – Finally it is to be noted, that no deposits of coarse aggregates with low content of flint are known yet.

Litteratur:

- Forkortelse: Alkaliudvalget = The Danish National Institute of Building Research and the Academy of Technical Sciences, Committee on Alkali Reactions in Concrete, Copenhagen.
E. Suenson: »Byggematerialer III Natursten«, København 1942.
(42 S 6) Kaj Hansen. »Introduction and Bottom Deposits. No. 1 of: Investigations of the Geography and Natural History of the Præstø Fjord, Zealand«, Folia Geographica Danica, Tom. III No. 1. Copenhagen 1944.
(44 H 10) »Dansk Ingeniørforenings Normer for Bygningskonstruktioner. 2. Beton- og Jernbetonkonstruktioner, DS 411. Med midlertidigt tillegg af 1. nov. 1949«, København 1949.
(49—198) Th. Sorgenfrei & O. Berthelsen. »Geologi og Vandboring (Geology and Water Well Boring)« Danmarks Geologiske Undersøgelse, III række, nr. 31. København 1954.
(54 S 14) A. Tovborg Jensen, C. J. Wøhlk, K. Drenck, E. Krogh Andersen, G. M. Idorn, »A Classification of Danish Flints etc. Based on X-ray Diffractometry«. Alkaliudvalgets Progress Report D 1. 1957.
(57 J 4) H. Gry & B. Søndergård. »Flintforekomster i Danmark (The Occuring of Flint in Denmark)«. Alkaliudvalgets Progress Report D 2. 1958.
(58 G 1) G. Larsen. »Petrografisk Undersøgelse af betongrus. Hvorfor og hvordan (Petrographic Examination of Aggregates)«. Beton-Teknik nr. 3, pp. 73—104. København 1959.
(59 L 6) G. Larsen. »Grus til betonstøbning (Gravel for concreting)«. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening. Bd. 14, pp. 77—95. København 1959.
(59 M 9) K. Milthers. »Beskrivelse til Geologisk Kort over Danmark. Korthbladene Fåborg, Svendborg og Gulstav (Explanation of the Sheets Fåborg, Svendborg and Gulstav)«. Danmarks Geologiske Undersøgelse I række, nr. 21-A. København 1959.
(59 S 7) B. Søndergård. »Petrografisk undersøgelse af danske kvartære grusaflejringer (Petrographic Investigation of Quaternary Danish Gravel Deposits)«. Alkaliudvalgets Progress Report E 1. 1959.
(61 J 1) A. Jeppesen. »Alkaliudvalgets vejledning 2. Vedligeholdelse og istsandsættelse af beton- og jernbetonkonstruktioner«. Statens Byggeforskningsinstitut. København 1961.
(61 P 1) N. M. Plum. »Alkaliudvalgets vejledning 1. Foreløbig vejledning i forebyggelse af skadelige alkali-kiselreaktioner i beton«. Statens Byggeforskningsinstitut, København 1961.
(62 L 4) G. Larsen. »Danske betongrusmaterialels kornform og kornoverflade (Particle Shape and Particle Surface of Danish Concrete Materials)«. Nordisk Betong, årg. 6, pp. 171—178. Stockholm 1962.
(63 N 1) A. V. Nielsen. »Ekskursion til Fyn«. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening, bd. 15, pp. 254—263. København 1963.