

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 Byggeforskningsinstitut

666.972.12

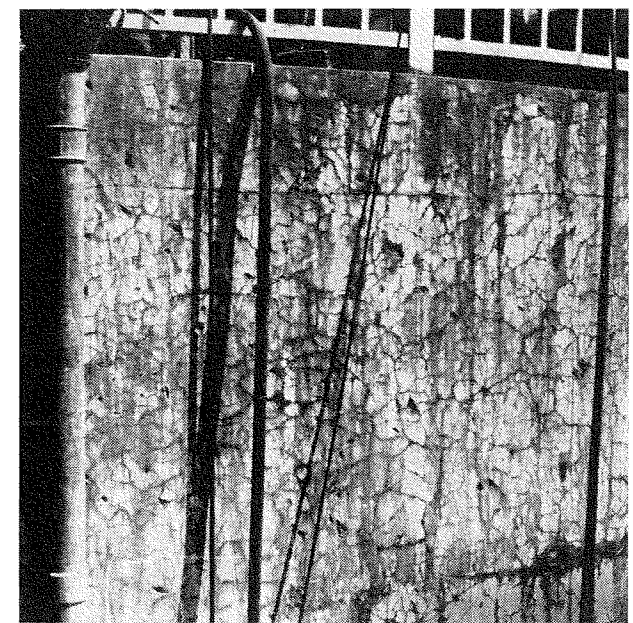


Fig. 1. Betonkonstruktion forvitret i svær grad væsentligst som følge af alkalikiselreaktioner. Kvantitativ petrografisk analyse af ca. 65 tyndsnit udtaget forskellige steder i bygværket har vist, at flintindholdet i tilslaget sandfraktion gennemsnitlig er ca. 6 1/2 %; det varierer fra ca. 1/2 til ca. 12 1/2 %; 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, Udvalget vedrørende alkalikiselreaktioner i beton udførte i årene 1954-59; det var i særlig grad spørgsmålet om betonforvitring som følge af reaktioner mellem cementens alkalier og flintbjergarter fra gruset, der blev behandlet her. Resultaterne af udvalgets mangesidige 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 alkalikiselforvitring og reparation af beskadigede betonkonstruktioner.

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

1. Lavalkali cement + alm. tilslag.
2. Alkalikiselresistent 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 alkalikiselreaktioner. De øvrige foranstaltninger nedsætter 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 henvendelse udefra at bestemme flintindhold i indsendte prøver.

Det er disse undersøgelses 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 undersøgelse har forfatteren haft samarbejde med civilingeniørerne Jørn Jessing og Erik Trudsø samt cand. mag.erne 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 kvartssandslokaliteter. Nogle forsøg med tertiært 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 igen er defineret som partikler henholdsvis mindre end og større end 4 mm \square . En prøves *kornstørrelsesfordeling* angives, ligeledes efter DS 411, ved summationskornkurven. 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 mikrokrystallinske og/eller amorf kiseltsyre (SiO_2), undertiden tillige indeholdende kalcit (CaCO_3). I betonteknologien skelnes ofte mellem to hovedtyper: porøs og tæt flint, som igen kan inddeles på flg. måde efter mineralsammensætning:

porøs flint	{ Kalkopal flint Opal flint
tæt 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 tertiært kvartssand; det drejer sig om forviklede, ofte forsteningsførende bjergarter, hvis oprindelige hjemsted er Østersøområdet siluraflejringer.

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

Ved *flintfrit grus* forstås materialer, hvis indhold af flintbjergarter er praktisk taget 0%. En aflejrings betegnelse *flintfattig*, hvis dens indhold af flint ikke overstiger 2%. Denne terminologi er udarbejdet på grundlag af de foreløbige resultater af Alkaliudvalgets mørtelprismeforsøg; disse forsøg har vist, at med flintprocenter < 2 fås under alm. danske forhold praktisk taget ingen mørtelprismeeexpansioner > 0,1%, uanset cementens alkaliindhold, hvilket skulle svare til, at risikoen er meget ringe for alkalikiselforvitring i bygværker 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 maskevædder 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 foruden de ovennævnte flinttyper skelnes mellem kalksten, sandsten, eruptiver og mineraler. Komponenternes hyp-

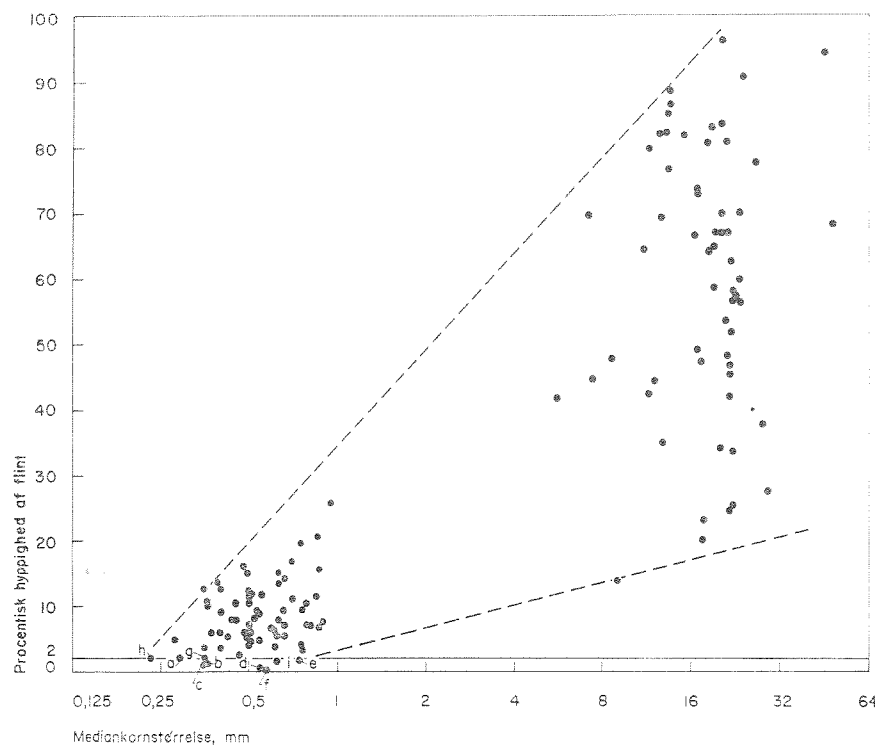


Fig. 2. Danske grusmaterialer; relation mellem flintindhold og gennemsnitskornstørrelse. Ni (mrk. a-i) af de finkornede prøver indeholder < 2% flint; disse flintfattige prøvers lokaliseringsring er vist i fig. 3.

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 mikroskoppræparater, 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 omlægning af istidsdannelser samt 3) »sømaterialer« omfattende både egentlige havbundsaflejringer og »druknede« 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 kornstørrelsesfraktion 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 betydningsløs 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 velafgrænsede 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-

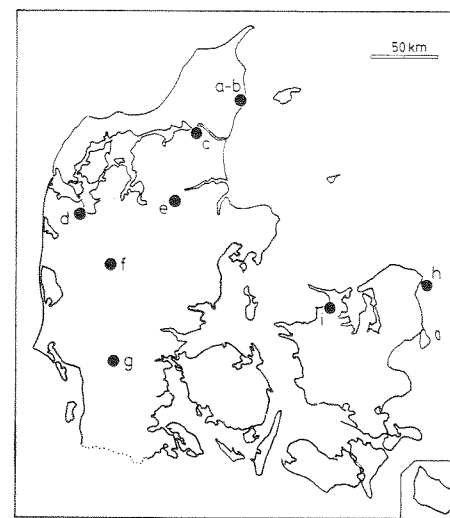


Fig. 3. Lokaliseringen af de ni (mrk. a-i) flintfattige sandprøver fra fig. 2.

hyppigheden selv for prøver med samme gennemsnitskornstørrelse. Disse variationer er ikke blot udtryk for, at det afbildede analysemateriale repræsenterer alle aflejringsstyper 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

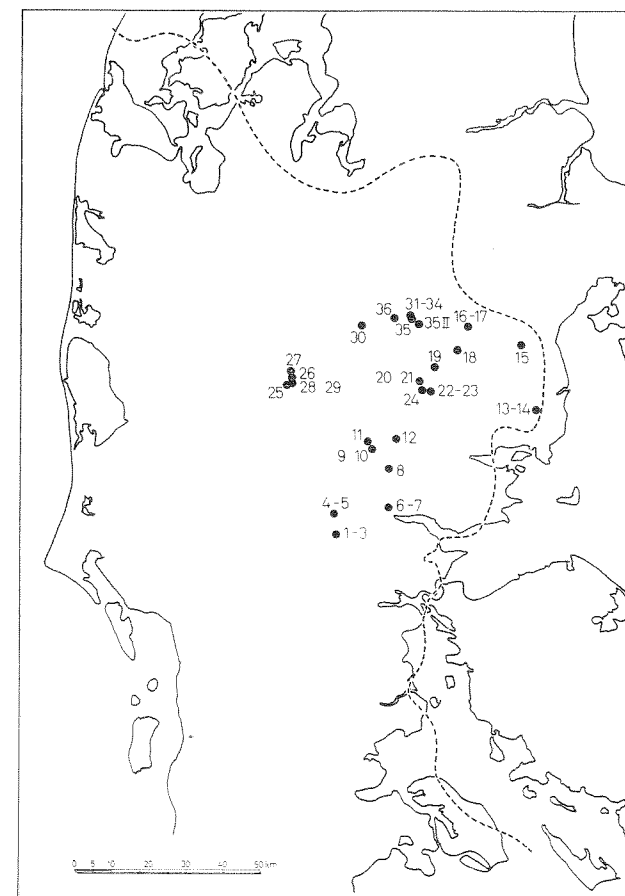


Fig. 4. Kort over Jylland. Sorte cirkler med tilhørende tal (1-36) angiver besøgte kvartssandlokaliteters beliggenhed og nr. Den stiplede linie markerer øst- og nordgrænse for det miocæne aflejringsbassin.

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 tertiært 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 tertiære 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 aflejringsbassin, som gradvis udfyldtes af sedimentet i løbet af kridt-tertiær tiden. I den periode, miocæntiden, da kvartssandet aflejredes, var bassinudfyldningen øjensynlig så vidt fremskredet, 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 tertiært 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 overlejringer 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 krydslejringsstrukturer, d. v. s. vekslinger mellem horisontalt lagdelte lag og lag med skråstillet lagdeling; tilsvarende strukturer findes også i smeltevandsand.

I april 1960 undersøgte SBI 35 forekomster af kvartssand 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-

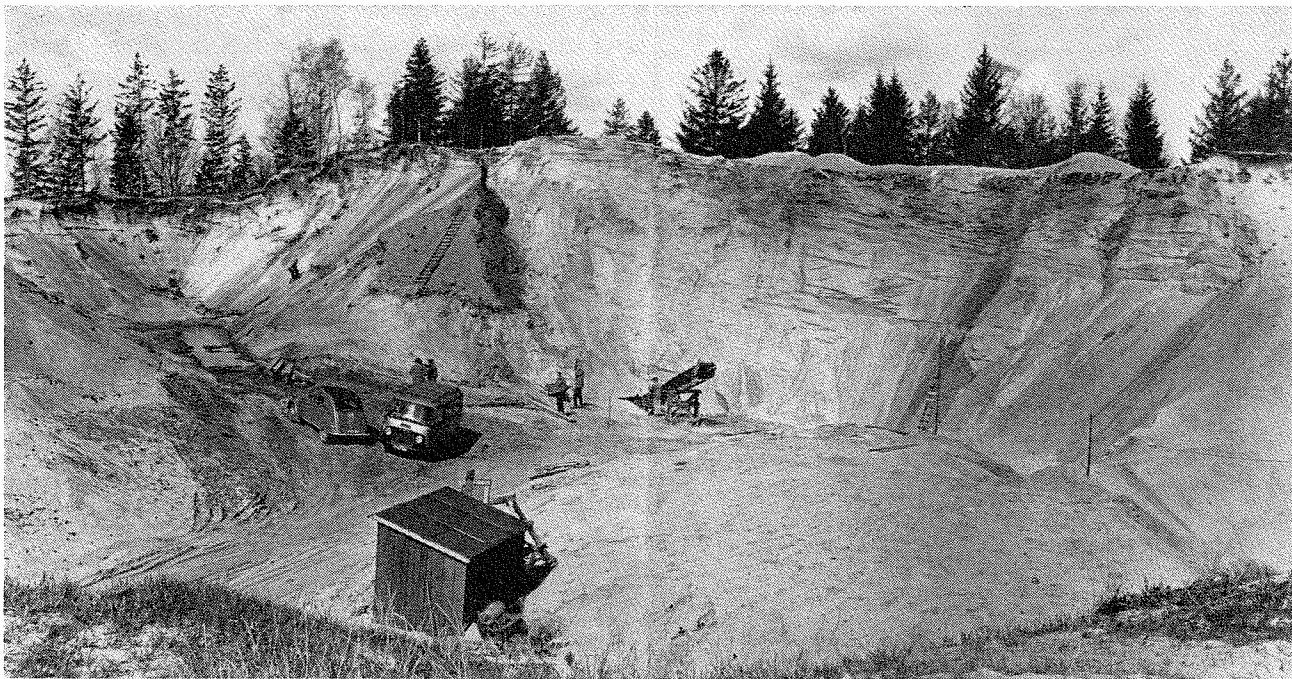


Fig. 5. Større grav i tertiært kvartssand (lok. 16, jvf. kortet fig. 4). I profilvæggen ses den for kvartssandet karakteristiske veksling mellem skråstillede og næsten horisontalliggende lag; sidstnævnte er dog svagt hældende, hvilket afspejler, at hele forekomsten er noget deformeret sandsynligvis som 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 betontilslag.

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 østjydske 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

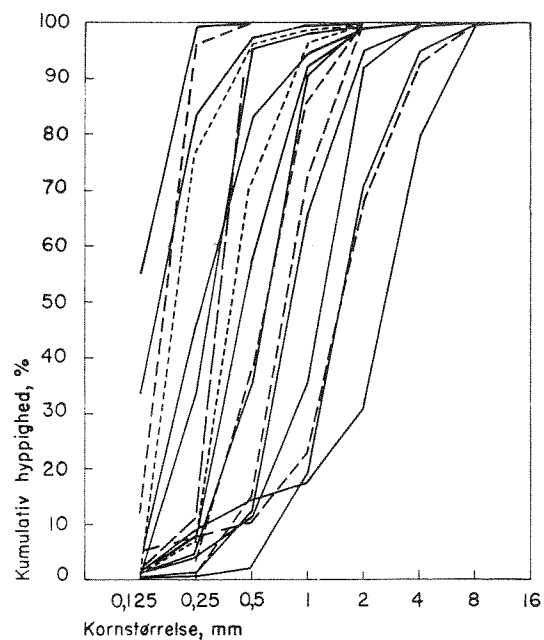


Fig. 6. Tertiært kvartssand; graderingskurver.

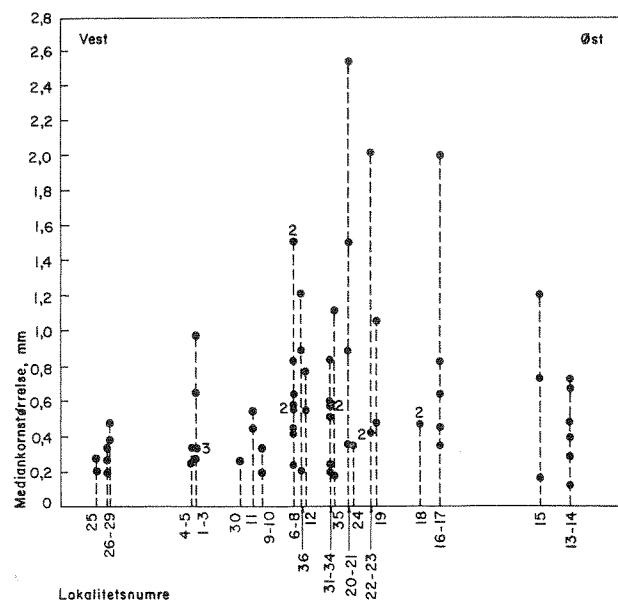


Fig. 7. Tertiært kvartssand; gennemsnitskornstørrelse for ca. 70 kvartssandsprøver angivet i relation til prøvematerialets lokalisering. Angående lokalitetsnumre se kortet fig. 4. Tal i diagrammet angiver antallet af analyser i samme punkt.

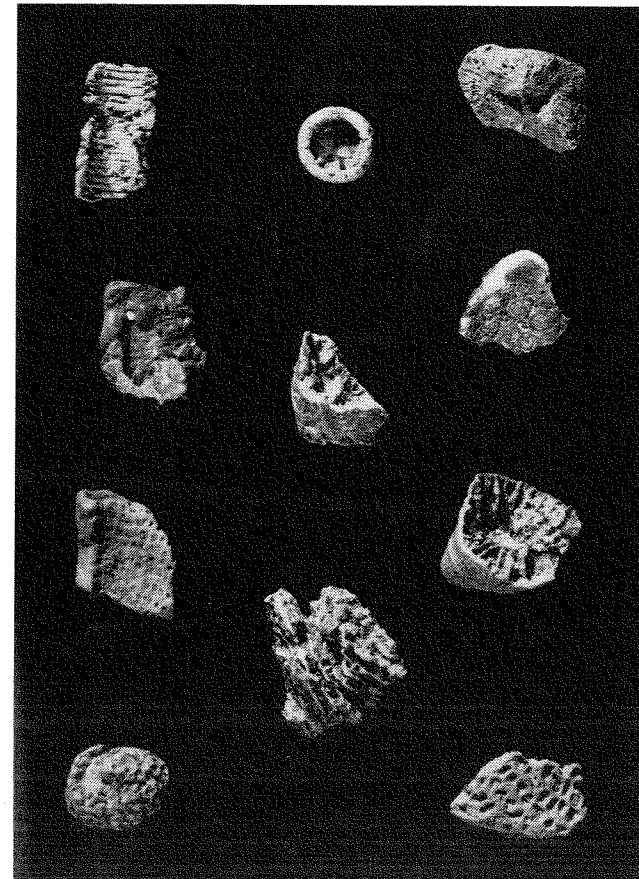


Fig. 8. Eksempler på de specielle flintbjergarter, »silicifikaterne«, som træffes i det tertiære kvartssand; det drejer sig væsentligst om forfælede organismerester, bl. a. koraller og søljer (foto B. Hjorth).

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

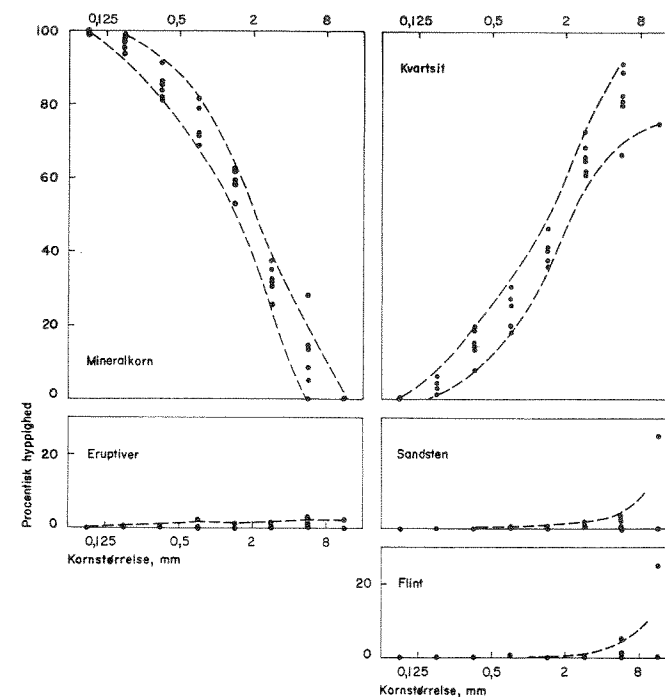


Fig. 9. Tertiært kvartssand; petrografisk sammensætning af de enkelte kornstørrelsesfraktioner i 6 prøver.

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 kvartssandet betragtes under en betonteknologisk synsvinkel.

Resultater af analysen er afbildet i diagrammet fig. 9, som viser hyppigheden af de forskellige komponenter i de enkelte kornstørrelsesfraktioner. Det vil heraf fremgå, at der er en nøje afhængighed mellem kornstørrelse og komponenthyppighed. De fremherskende bestanddele er kvartssit og mineralcorn (væsentligst kvarts), som dominerer henholdsvis de grovkornede og de finkornede fraktioner. Eruptiver og sandsten spiller mængdevis 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 iøvrigt ved en kvalitativ besigtelse konstateret i et større antal prøver. Dette tyder på, at den »lovmæssighed« der, som tidligere nævnt, gælder for kvartærgruset, nemlig at flintindholdet tiltager med kornstørrelsen, også i princippet gælder for det tertiære kvartssand; der er blot den forskel mellem de to materialetyper, at flinthyppigheden er langt mindre i de tertiære end i de kvartære dannelser.

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

Tabel I. Seks kvartssandsprøvers 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
Kvarssit	42.6	25.4	27.5	29.9	39.3	54.2
Sandsten	0.5	0.1	—	0.2	0.5	0.6
Mineralcorn	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 kvartssit og mineralcorn (d. v. s. væsentligst kvarts) tilsammen udgør over 95% af materialerne; betegnelsen kvartssand for disse aflejringer må derfor siges at være særdeles karakteriserende. Forskellen fra prøve til prøve i forholdet mellem kvartssit og mineralcorn står i tydelig relation til

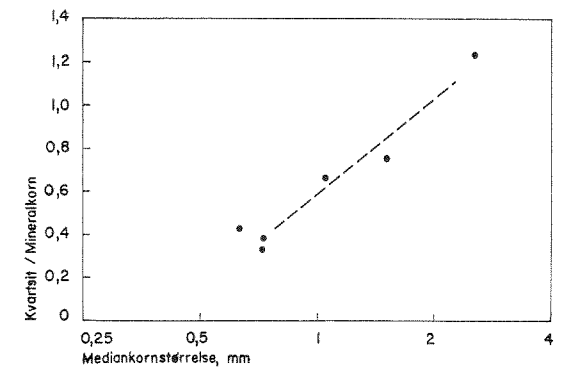


Fig. 10. Tertiært kvartssand; relation mellem gennemsnitskornstørrelse og forholdet kvartssit/mineralcorn for 6 prøver.

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 fynske og det jyske kvartssand. Forskellen er især den, at det fynske materiales flintindhold, selv om det er lavt, tilsyneladende er betydelig højere end det jyske 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 afviger kvartssandet fra det kvartære sand.

Geologisk bedømmelse.

Da lighederne mellem de to kvartssandsaflejringer, ifølge disse foreløbige undersøgelser, synes at være mere udtalte end forskellene, findes det rimeligt indtil videre, at opfatte det fynske kvartssand som aflejningsmæssigt sammenhørende med det jyske. Det større flintindhold i det fynske sand kan eventuelt være fremkommet ved »forurening« fra kvartærmaterialerne under de processer, hvorved kvartssandet er blevet indlejret i istidsformationerne. Ifølge det geologiske undergrundskort er det fynske kvartssand som nævnt beliggende noget øst for det mio-cæne aflejningsbassins østrand. Man må tillige regne med, at kvartssandet oprindeligt har haft en endnu østligere beliggenhed, idet de isgletschere, som har disloceret og indlejret materialet i kvartærserien, efter alt at dømme har bevæget sig ind over området fra Ø, SØ eller NØ. Ifølge disse forhold kan det fynske kvartssands sam-hørighed med det jyske tilsyneladende bedst forklares ved den antagelse, at det fynske sand repræsenterer rester af flodterrassedannelser eller andre tilsvarende aflejringer fra flodsyste-mer, som i tertiærtiden førte materiale fra det skandinaviske område til det jyske aflejningsfelt.

Betonteknologisk betragtning.

Kvartssandet 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 uheldig 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 jyske 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 syd-fynske forekomster må afventes, før nærmere vurdering af brugbarheden som betontilslag kan fremsættes.

Havbundsmaterialer, syd-fynske farvande.

Medens undersøgelsen af det tertiære kvartssand iværksattes på SBI's eget initiativ, har laboratoriets analyser af materialer fra det syd-fynske 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 stenaflejringer med lavt flintindhold; ved betonfremstillingen var man derfor henvist til at benytte granitskærver som groft tilslag. Derimod fandt man frem til naturlige aflejringer af flintfattigt sand.

Efter forekomsternes lokalisering blev der med jævnlige 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 tilslagsets petrografiske sammensætning.

Prøvematerialets lokalisering.

Næsten alle undersøgte sandprøver stammer fra havbunden i farvandet syd og øst for Fyn, hvor materialet blev opsøgt af stenfiskerfartøjer. De enkelte prøve-udtagningssteders nøjagtige position kendes desværre ikke i alle tilfælde; ofte er kun tilnærmede angivelser af forekomstområderne meddelt. Disse områder er indteget 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 (Korsøregnen); denne ryg opfattes som en israndsdannelse, opstået ved et fremstød af en gletscher fra Østersøområdet i slutningen af istiden. — Rekvirenten har for en enkelt af prøverne (A-9) meddelt den nøjagtige position, som udtrykt i det geografiske E. D.-system er: Bredde 55° 08' 24", 37, længde 10° 53' 15". 08. Indmålingen udførtes med teodolit fra G. I.-fikspunkter på Langeland, idet skibet indmåltes 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.

Iøvrigt er oplyst, at samtlige indsendte prøver med undtagelse af A-6 er opsøgt 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 søgt op fra grunden ved kanten af den N-S gående sejlrende. Lokalitet »C« er et område »vest for Rudkøbing løb, syd for Siø«; repræsenteret ved to prøver taget på 2-3 m vand vest for sejlrenden ud for Rudkøbing havn. Prøve D-1 stammer fra havbunden ud for Korshavn, 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.

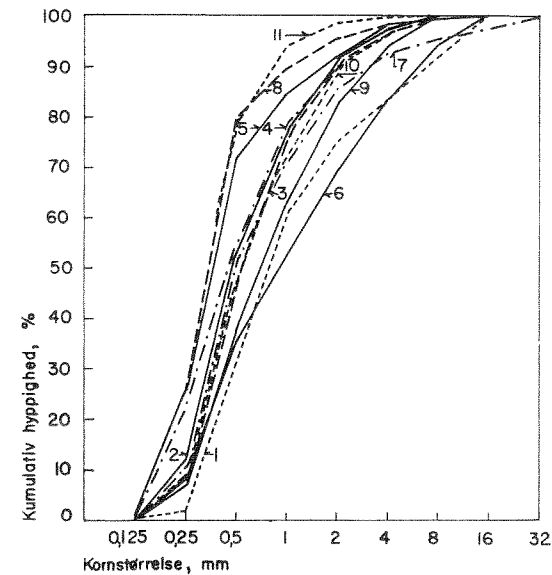


Fig. 13. Sydfynsk havbundssand; graderingskurver for 11 prøver fra lok. »A« (se fig. 11).

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

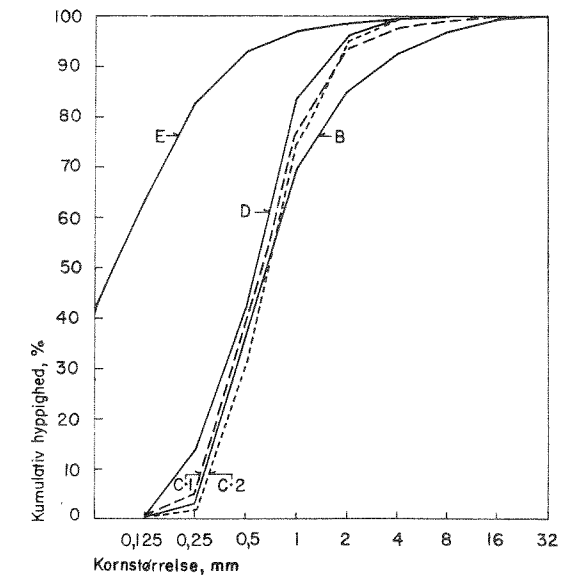


Fig. 14. Sydfynsk havbundssand m. v.; graderingskurver for prøver fra lok. »B«, »C«, »D«, »E« (se fig. 11).

ensartede kornkurver; disse er stejle i intervallet 1/4-1 mm., og »flader jævnt ud« i de grovere fraktioner. Fillersandets (lok. »E«) gradering er jævn og tilnærmelsesvis 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 »kappe« på tætte flinter. Disse flinttyper svarer nøje til de typer, man finder i andre kvartære aflejringer i Danmark; de er oprindeligt hjemmehørende i den danske undergrunds kalk- og kridtlag.

Af alkaliinaktive komponenter er følgende konstateret: kalk (CaCO₃), sandsten, eruptiver, mineralkorn. Kalken findes ganske overvejende i form af skaller og skalrester af muslinger og snegle; egentlige kalkstensbrudstykker er ret sjældent forekommende. Sandsten er til stede som brudstykker dels af finkornede, grålige til grønlig, 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 finkornede fraktioner tungminerale.

Mængdeforholdet af disse komponenter i de enkelte kornstørrelsesfraktioner er vist i diagrammet fig. 15. Det skal bemærkes, at denne afbildning ikke omfatter analyser af kornstørrelsesfraktioner, som kun er repræsenteret ved ganske få korn. Fraktioner > 8 mm er derfor ikke vist i diagrammet. Alle fraktioner er derimod medtaget ved udregningen af totalprøvernes sammensætning (tabel V). Fig. 15 inkluderer ikke fillersandet fra lok. »E«; fraktionssammensætningen af dette materiale er vist særskilt i tabel IV.

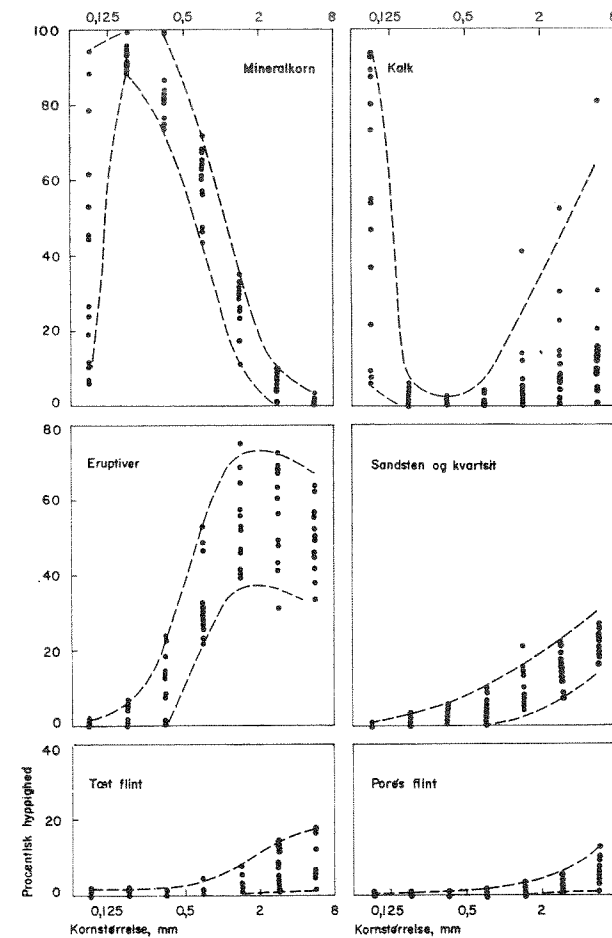


Fig. 15. Sydfynsk havbundssand; kornstørrelsesfraktionernes petrografiske sammensætning.

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 sandaflejrings 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 detaljeret viden om de geologiske forhold, bl. a. fra resultaterne af den geologiske kortlægning, som udføres af Danmarks Geologiske Undersøgelse. For havbundsaflejringerne 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 lovmæssighed, der gør sig gældende i forholdet mellem flinthypighed 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 alkalisk-forvittringsfarens afhængighed af flinthypighed og cementtype, er foreløbige. Fortsatte studier på dette felt må derfor anses for påkrævet bl. a. for klarlægning 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.
- (42 S 6) E. Suenson: »Byggematerialer III Natursten«, København 1942.
- (44 H 10) 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.
- (49—198) »Dansk Ingeniørforenings Normer for Bygningskonstruktioner. 2. Beton- og Jernbetonkonstruktioner. DS 411. Med midlertidigt tilæg af 1. nov. 1949«. København 1949.
- (54 S 14) Th. Sorgenfrei & O. Berthelsen. »Geologi og Vandboring (Geology and Water Well Boring)« Danmarks Geologiske Undersøgelse, III række, nr. 31. København 1954.
- (57 J 4) 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.
- (58 G 1) H. Gry & B. Søndergård. »Flintforekomster i Danmark (The Occuring of Flint in Denmark)«. Alkaliudvalgets Progress Report D 2. 1958.
- (59 L 6) G. Larsen. »Petrografisk Undersøgelse af betongrus. Hvorfor og hvordan (Petrographic Examination of Aggregates)«. Beton-Teknik nr. 3, pp. 73—104. København 1959.
- (59 L 7) 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. Kortbladene 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 istandsættelse af beton- og jernbetonkonstruktioner«. Statens Byggeforskningsinstitut. København 1961.
- (61 P 1) N. M. Plum. »Alkaliudvalgets vejledning 1. Foreløbig vejledning i forebyggelse af skadelige alkaliskilreaktioner i beton«. Statens Byggeforskningsinstitut. København 1961.
- (62 L 4) G. Larsen. »Danske betongrusmaterialers 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.