

Grus til betonstøbning

af

GUNNAR LARSEN

Abstract

Natural gravel (i.e. sand and stone) are widely utilized as concrete aggregates. This paper presents a survey of properties of such materials of importance with respect to their use for concrete works. Methods of classification based on petrographic analyses are described and examples are given of examinations carried out.

Indledning

Grus er et råstof, der finder anvendelse i stadigt større omfang, især til vejbygning og betonstøbning. I teknisk sprogbrug er grus betegnelse for blanding af sand og sten, der igen karakteriseres som korn, hvis diameter er henholdsvis mindre end og større end 4 mm. Grus anvendt til beton kaldes også tilslag. Denne terminologi anvendes i foreliggende arbejde, som skal belyse grusmaterialernes betydning i betonteknologien.

Grundlaget for rapporten er undersøgelser udført på UDVALGET VEDRØRENDE ALKALIREAKTIONER I BETON's petrografiske laboratorium. Dette laboratorium, hvis daglige ledelse forestås af civilingeniørerne G. M. IDORN og ERVIN POULSEN, har til opgave at belyse teoretiske og praktiske spørgsmål vedrørende alkalireaktioner i beton bl. a. ved hjælp af petrografisk metodik. Ved disse undersøgelser har flg. geologer ydet geologisk og petrografisk assistance: Dr. phil. H. PAULY, mag. scient. A. BERTHELSEN, stud. mag.erne V. KROGH og JOHN HANSEN samt forfatteren. Desuden har laboratoriet haft samarbejde med statsgeolog dr. phil. H. GRY og cand. mag. B. SØNDERGAARD, DANMARKS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE.

Som et led i laboratoriets undersøgelser er der, overvejende på konsultationsbasis, udført petrografiske analyser af en række danske og udenlandske grusmaterialers betonteknologiske egenskaber. Følgende redegørelse fremlægger problemstillingen og undersøgelsesmetodikken ved samt eksempler på sådanne grusundersøgelser.

For tilladelse til at publicere dette materiale takker jeg UDVALGET VEDRØRENDE ALKALIREAKTIONER I BETON. En særlig tak rettes til civilingeniørerne G. M. IDORN og ERVIN POULSEN for kritik og diskussion. Alle tegninger er udført på DANMARKS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE'S tegnestue af fru R. BORG. For denne imødekommenhed bringer jeg institutionen min tak.

I. Grusegenskabernes betydning i betonteknologien

Udgangsmaterialerne ved betonstøbning er almindeligvis grus, cement og vand. Af disse er gruset den kvantitative hovedkomponent, idet det oftest udgør 60—80 % af betonen.

Den hærdnede betons styrke og holdbarhed afhænger af disse udgangsmaterialers sammensætning og blandingsforhold samt af en del andre faktorer, nemlig omstændighederne ved støbningen og hærdningen, konstruktionens belastning og påvirkninger fra omgivelserne m.v.

De forhold ved grusmaterialet, der har særlig betydning for betonblandningens bearbejdelighed og for den hærdnede betons egenskaber er følgende:

1. Graderingen (kornkurven)
2. Gruskornenes fysiske egenskaber
 - a. Form
 - b. Overfladetextur
 - c. Fasthed og hårdhed
 - d. Vægtfylde
 - e. Porøsitet
3. Gruskornenes mineralogiske sammensætning og kemiske aktivitet

Grusets kornkurve eller gradering har væsentlig indflydelse på betonblandningens bearbejdelighed og dermed på cement- og vandforbrug ved støbningen. Graderingens indflydelse er størst i magre, d.v.s. cementfattige, betonblandinger. En almenyldig, veldefineret idealkornkurve for betongrus kan ikke opstilles, idet en række andre forhold ved gruset som f. eks. kornenes form og overfladetextur indvirker på graderingens betydning for betonens egenskaber. I de fleste tilfælde kan det imidlertid betragtes som gunstigt, at gruset indeholder såvel fine som grove komponenter. Grusets største kornstørrelse spiller en rolle for forskellige forhold i betonen. Med stigning i maximumkornstørrelsen reduceres således cement- og vandforbruget samt udtørringssvindet, medens styrken pr. cementenhed stiger. Grusets fineste partikler, leret, vil ofte optræde som belægning på større gruskorn, hvilket svækker bindingen cement-grus. Af hensyn til betonens styrkeegenskaber bør lerindhold i gruset derfor almindeligvis undgås.

Gruskornenes form og overfladekarakter har betydning både for betonblandningens bearbejdelighed og for den hærdnede betons styrke. Kornformen kan være 1) kompakt (eller isodimensional), 2) lang, 3) flad. Overfladen kan karakteriseres på følgende måde: 1) skarpkantet, 2) kantrundet, 3) afrundet og 1) ru, 2) glat. En betonblanding, hvis grus overvejende består af kompakte, afrundede, glatte korn, er let at bearbejde og kræver derfor kun et ringe vandindhold, medens grus, domineret af lange eller flade, kantede, ru korn giver en »strid« betonblanding, der ved støbningen kræver langt større vandtilsætning, og derfor, af hensyn til betonens styrke, tillige et større cementforbrug. Bindingen mellem cementen og gruset, der er væsentlig for betonens styrke, afhænger især af kornenes overfladetextur. Cementbindingen er stærkere på ru og kantede korn end på glatte og afrundede korn.

Gruskornenes hårdhed og fasthed bør være større end eller lig med den hærdnede cementpastas, idet partikler, der er væsentlig blødere, vil virke som svage punkter i bygværket. Indholdet af bløde og smuldrende partikler bør bl. a. af denne grund holdes på et minimum.

Ved fremstilling af almindelig beton er gruskornenes rumvægt i sig selv uden større betydning. Den spiller derimod en afgørende rolle ved fremstilling af letbeton og tungbeton. Et eksempel på undersøgelse af grusmaterialer til tungbeton er fremlagt p. 88.

En partikels rumvægt kan have betydning for vurdering af en anden side af materialets egenskaber, nemlig porøsiteten, idet differensen mellem rumvægt og vægtfylde kan tages som et udtryk for partikkelens porevolumen. Porøse, vandmættede partikler kan sprænges ved frysning. Frostsprængning af betonens gruspartikler kan forårsage revnedannelse i cementpastaen, hvilket nedsætter betonens styrke og holdbarhed. En porøs partikels frostfarlighed er i højere grad bestemt af porestruktur end totalt porevolumen. Er porediameteren mindre end ca. 4–5 μ , er materialet frostfarligt, medens materialer med større porediameter er frostfaste. Betongrus til udendørs konstruktioner bør derfor indeholde færrest mulig højporøse partikler med ultramikroskopiske porer. I danske grusforekomster er sådanne partikler væsentligst repræsenteret ved lys flint, kalksten og sandsten. Ved fremstilling af brandsikker beton kan partiklernes porøsitet derimod være en gunstig egenskab, idet den kan nedsætte varmeledningsevnen. Sprængning som følge af kraftig varmepåvirkning vil fortrinsvis ske i visse tætte materialer som kvarts, granit og tæt flint.

Grusets mineralsammensætning har også på anden måde indflydelse på betonens egenskaber, idet visse grusminerale er ubestandige i betonen dels som flg. af iltning, hydratisering og karbonatisering, dels som følge af reaktivitet over for komponenter i cementen. Til førstnævnte kategori hører sulfider som svovlkis og markasit samt jernkarbonater og -oxyder f. eks. i lerjærnsten. Disse stoffers omdannelse sker under volumenforøgelse, hvilket kan forårsage revnedannelse i betonen. Af gruskomponenter, der er reaktive over for cementbestanddele, kan nævnes sulfater, zeoliter, organisk substans og alkaliløselig kisel. Sulfater kan reagere med cementen under dannelse af et ekspansivt reaktionsprodukt, kalciumsulfatoaluminat. Zeoliternes jonbytningsvirkning kan bl. a. ytre sig ved, at cementen får et tilskud af alkali. Forekomst af organisk substans vil næsten altid have skadelig virkning på betonen. Således kan dens hærdning forringes ved, at humussyre angriber cementen. Ved reaktion mellem den alkaliløselige kisel og cementens alkalier dannes et ekspansivt reaktionsprodukt, alkalikiselgel, som kan forårsage kraftig revnedannelse i betonen. Hvorvidt forløbet af alkalireaktionerne vil være skadeligt, d.v.s. fremkalde revnedannelser i betonen, eller uskadeligt, afhænger af forskellige faktorer såsom de reaktive partiklers kornstørrelse og hyppighed samt cementens alkaliindhold m.v. Alkalireaktiv kisel er amorf eller mikrokrySTALLINSK og optræder i danske grusmaterialer væsentligst i form af flint, men kan også forekomme som matrix i sandsten og som glassubstans i vulkaniter. Flintens struktur og sammensætning er behandlet af A. TOVBORG JENSEN m. fl. (1957) og H. GRY og B. SØNDERGAARD (1958). — De anførte grusreaktioner er alle, direkte eller indirekte, skadelige for betonen, idet de nedsætter dens styrke og holdbarhed. For de danske betonbygværker må alkalireaktioner samt frostsprængninger regnes blandt de væsentligste forvittringsårsager.

Den fremlagte redegørelse for emnet grus og beton er på ingen måde udtømmende, men skal blot markere problemstillingen ved undersøgelse af grus til betonstøbning. For videre oplysning henvises til bl. a. R. F. BLANKS & H. L. KENNEDY, 1955, E. SUENSON, 1942, samt R. BASTIANSEN m. fl., 1957 og G. M. IDORN, 1957, 1958. Specielt angående alkalireaktioner henvises til N. M. PLUM, E. POULSEN og G. M. IDORN, 1957, samt UDVALGET VEDRØRENDE ALKALIREAKTIONER I BETON'S Progress Reports, som er under udgivelse.

II. Metodik ved undersøgelse af grus til betonstøbning

Laboratoriets undersøgelse af grus til betonstøbning er lagt til rette med henblik på karakterisering af grusets gradering samt gruskornenes mineralogiske sammensætning og fysiske egenskaber. Hovedtrækkene i fremgangsmåden er vist i diagrammet fig. 1¹⁾.

1) Denne metode er udviklet på basis af en af statsgeolog dr. phil. H. GRY, D.G.U., udarbejdet metode til grusundersøgelser inden for alkaliudvalgets analyse- og forsøgsprogram.

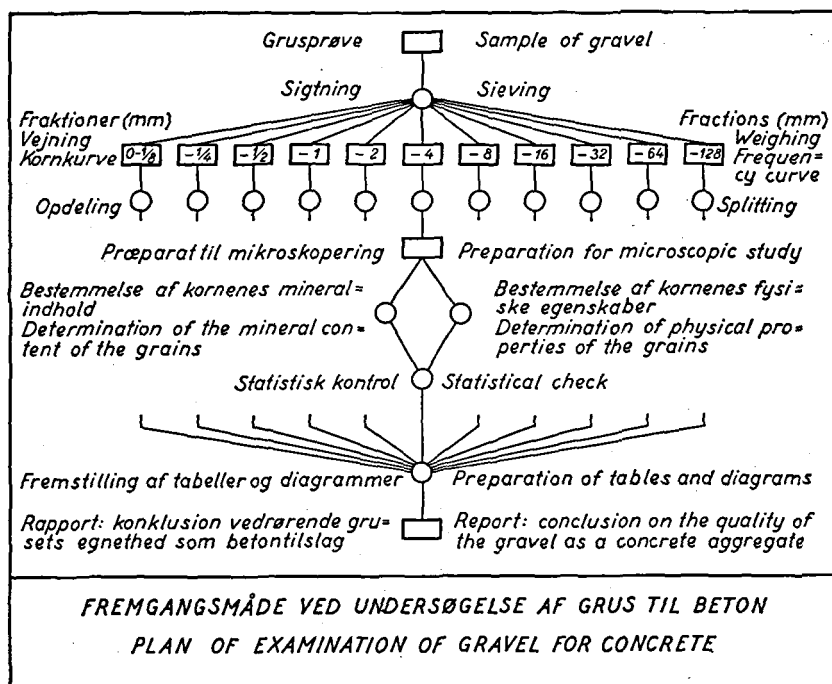


Fig. 1.

Grusets kornkurve fastlægges ved sigtning af materialet i de i fig. 1 anførte fraktioner.

I de enkelte fraktioner foretages undersøgelse af gruskornene. Undersøgelsesmetoden er forskellig for de fine og de grove fraktioner. I fraktionerne større end 4 mm undersøges materialet makroskopisk støttet af observationer i binokulært mikroskop. Fraktionerne mindre end 4 mm analyseres ved polarisationsmikroskopering af tyndsnit af plasticimprægneret kornmasse.

Hver fraktions sammensætning af bjergarter og mineraler bestemmes ved optælling ved hj. af et blodtællerapparat. Et standardskema omfattende flg. komponentgrupper benyttes ved undersøgelse af danske grusmaterialer.

- A. Alkalireaktive komponenter
 1. Tæt flint, kalkholdig
 2. Tæt flint, kalkfri
 3. Porøs flint, kalkholdig
 4. Porøs flint, kalkfri
- B. Overvejende alkaliinaktive komponenter
 5. Eruptiver (d.v.s. magmatiske og metamorfe bjergarter)
 6. Sandsten
 7. Kalkforekomster
 8. Mineraler (d.v.s. korn bestående af et enkelt mineral)

I hver fraktion bedømmes desuden gruskornenes fysiske egenskaber, og de forskellige egenskabers kvantitet bestemmes ved korntælling. Ved disse undersøgelser registreres følgende egenskaber.

A. Struktur	B. Form	C. Overfladetekstur
1. Tæt, hård	1. Kompakt	1. Skarpkantet
2. Porøs	2. Lang	2. Kantrundet
3. Smuldrende	3. Flad	3. Afrundet
		1. Ru
		2. Glat

Det herved frembragte talmateriale for kornfraktionernes sammensætning og egenskaber behandles statistisk af hensyn til vurdering af dets repræsentativitet. Til dette brug er der af civilingeniør ERVIN POULSEN (1958) udarbejdet dels en hypoteseprøvningsmetode dels tabeller og diagrammer for størrelse og beliggenhed af 95 %-konfidensintervaller for forskellige hyppighedsværdier. Ved et 95 %-konfidensinterval forstås et interval, som med en sandsynlighed på 95 % omslutter hyppighedens middelværdi. En sådan tabel er vist p. 82.

Den samlede grusprøves mineralsammensætning og fysiske egenskaber beregnes i % på basis af fraktionsanalyser og kornkurve.

Den her omtalte fremgangsmåde kan betragtes som laboratoriets standardmetode, der benyttes ved bedømmelse af de fleste grusmaterialer. I visse tilfælde vil det imidlertid være nødvendigt at foretage supplerende undersøgelser. Sådanne undersøgelser består hyppigst i tyndsnitsobservationer af bjergarter ved hj. af polarisationsmikroskop og integrationsbord. En anden type er undersøgelse af bjergarters alkaliopløselighed ved hj. af hurtig kemisk metode, som går ud på, at nedknust bjergart bringes til reaktion med NaOH. Efter en given tid måles dels alkalireduktionen i opløsningen dels den opløste kiselmenge. Kombinationen af disse tal er udtryk for bjergartens alkalireaktivitet. Hurtig kemisk undersøgelse udføres på DANMARKS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE. Andre undersøgelser kan omfatte mørtelprismeforsøg, ved hvilke grusets egenskaber registreres under forskellige, definerede forhold.

Det samlede analysemateriale danner grundlag for vurdering af grusets anvendelighed til betonstøbning. Denne vurdering kan eventuelt resultere i, at der af hensyn til betonens styrke og holdbarhed tilrådes anvendelse af særlige cementtyper eller særlige tilsætningsstoffer ved støbningen.

Analyseresultaterne og den tekniske vurdering nedfældes i en rapport.

III. Eksempler på grusundersøgelser

I de forløbne 1½ år har alkaliudvalgets petrografiske laboratorium på konsultationsbasis undersøgt danske samt grønlandske, sydfranske og østafrikanske grusmaterialers egnethed som betontilslag. Hovedopgaven har i alle tilfælde været at klarlægge materialernes alkalireaktivitet, samt dennes indflydelse på betonens holdbarhed.

For de danske grusmaterialers vedkommende er alle vurderinger af analyserne foretaget på grundlag af resultater af alkaliudvalgets analyse- og

n	N	25	50	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	n	N	25	50	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500
0		13,7	7,1	4,8	3,62	2,43	1,83	1,47	1,22	1,08	0,92	0,82	0,73	25	100,00	85	45	35	24	18	14	12	10	9	8	7	
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000		86,27	38	23	17	11	8	7	5	5	4	4	3	
1		20,4	10,6	7,2	5,4	3,66	2,76	2,21	1,85	1,58	1,38	1,23	1,12	30	74	52	40	27	21	17	14	12	11	9	9	9	
		0,10	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,008	0,007	0,006	0,006	0,005		45	29	21	14	10	8	7	6	5	4	4	4	
2		26,0	13,7	9,3	7,0	4,7	3,6	2,9	2,39	2,04	1,79	1,59	1,44	35	82	59	45	31	24	19	16	14	12	11	10	10	
		0,98	0,49	0,32	0,25	0,16	0,13	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05		55	35	26	17	12	10	8	7	6	5	5	5	
3		31,3	16,6	11,2	8,5	5,7	4,3	3,5	2,9	2,5	2,1	1,9	1,7	40	90	65	50	35	26	21	18	15	13	12	11	11	
		2,5	1,25	0,83	0,63	0,41	0,31	0,25	0,20	0,17	0,16	0,14	0,12		66	41	30	20	14	12	10	8	7	6	6	6	
4		36,1	19,2	13,0	9,9	6,7	5,0	4,0	3,4	2,9	2,5	2,3	2,0	45	97	71	55	38	29	23	20	17	15	13	12	12	
		4,6	2,2	1,47	1,10	0,73	0,55	0,44	0,37	0,31	0,27	0,24	0,22		78	48	35	23	17	14	11	10	8	7	7	7	
5		40,7	21,8	14,8	11,3	7,6	5,7	4,6	3,9	3,3	2,9	2,6	2,3	50	100	77	60	41	32	26	21	19	16	14	13	13	
		6,8	3,3	2,2	1,66	1,09	0,81	0,65	0,54	0,47	0,41	0,36	0,33		93	55	40	26	19	15	13	11	9	8	7	7	
6		45	24,3	16,6	12,6	8,5	6,4	5,1	4,3	3,7	3,2	2,9	2,6	55	83	65	45	34	28	23	20	18	16	14	14	14	
		9,3	4,5	3,0	2,2	1,49	1,11	0,88	0,74	0,64	0,55	0,49	0,45		62	45	29	21	17	14	12	10	9	8	8	8	
7		49	26,7	18,3	13,9	9,4	7,1	5,7	4,8	4,1	3,6	3,2	2,9	60	88	70	48	37	30	25	22	19	17	15	15	15	
		12,1	5,7	3,8	2,9	1,9	1,42	1,13	0,94	0,81	0,70	0,63	0,56		69	50	32	24	19	16	13	12	10	9	9	9	
8		53	29	19,9	15,1	10,2	7,7	6,2	5,2	4,4	3,9	3,5	3,1	65	93	74	52	40	32	27	23	20	18	16	16	16	
		15,0	7,1	4,7	3,5	2,3	1,7	1,40	1,16	0,99	0,86	0,77	0,69		77	55	35	26	21	17	15	13	11	10	11	10	
9		57	31	21,6	16,5	11,0	8,4	6,7	5,6	4,8	4,2	3,8	3,4	70	98	79	55	42	34	29	25	22	19	17	17	17	
		18,0	8,6	5,6	4,2	2,8	2,1	1,7	1,38	1,18	1,03	0,91	0,82		85	60	39	28	23	19	16	14	12	11	11	11	
10		61	34	23	17,6	11,9	9,1	7,2	6,1	5,2	4,6	4,0	3,6	75	100	83	58	45	36	30	27	23	21	18	18	18	
		21,1	10,0	6,6	4,9	3,2	2,4	1,9	1,6	1,37	1,20	1,07	0,96		95	65	42	31	25	20	17	15	13	12	12	12	
11		65	36	25	19	12,7	9,7	7,7	6,5	5,6	4,9	4,3	3,9	80	87	61	47	38	32	28	24	22	20	20	20	20	
		24,3	11,5	7,5	5,6	3,7	2,8	2,2	1,8	1,6	1,38	1,23	1,10		71	45	33	26	22	17	16	14	13	13	13	13	
12		69	38	26	20	13	10,3	8,2	6,9	5,9	5,2	4,6	4,2	85	91	65	50	40	34	29	26	23	21	21	21	21	
		27,8	13,1	8,5	6,4	4,2	3,1	2,5	2,1	1,8	1,6	1,39	1,24		77	48	36	28	23	20	17	15	14	14	14	14	
13		72	41	28	21	14	11	8,7	7,3	6,3	5,5	4,9	4,4	90	82	52	38	30	25	21	18	16	15	15	15	15	
		31,4	14,6	9,5	7,1	4,7	3,5	2,8	2,3	2,0	1,7	1,5	1,38		95	68	52	43	36	31	27	24	22	22	22	22	
14		76	43	29	22	15	12	9	7,7	6,6	5,8	5,2	4,6	95	82	52	38	30	25	21	18	16	15	15	15	15	
		35,0	18,2	10,6	7,9	5,2	3,8	3,1	2,6	2,2	1,9	1,7	1,5		98	71	55	45	37	32	28	25	23	23	23	23	
15		79	46	31	23	16	12	10	8,2	6,9	6,1	5,4	4,9	100	89	55	40	32	26	22	20	17	16	16	16	16	
		33,7	17,8	11,6	8,7	5,7	4,2	3,4	2,8	2,4	2,1	1,9	1,7		100	74	57	46	39	34	29	26	24	24	24	24	
16		82	47	32	25	17	13	10	9	7,3	6,4	5,7	5,1	150	96	59	43	33	28	24	21	18	17	17	17	17	
		42,5	19,5	12,7	9,5	6,2	4,6	3,7	3,1	2,6	2,3	2,0	1,8		100,0	81	67	56	48	43	38	34	34	34	34	34	
17		85	49	34	26	18	13	11	9	7,7	6,8	6,0	5,4	200	97,6	68	54	44	38	33	29	26	26	26	26	26	
		46,5	21,2	13,7	10,2	6,7	5,0	4,0	3,3	2,8	2,5	2,2	2,0		100,0	85	72	62	55	49	45	45	45	45	45	45	
18		88	51	35	27	18	14	11	9	8,0	7,0	6,3	5,6	250	98,2	74	61	52	45	40	36	35	35	35	35	35	
		50,6	22,9	14,9	11,0	7,2	5,4	4,3	3,6	3,1	2,7	2,4	2,1		100,0	85	74	61	52	45	40	36	35	35	35	35	
19		91	53	37	28	19	15	12	9	8	7,3	6,5	5,9	300	98,5	79	66	57	49	43	39	37	37	37	37	37	
		54,9	24,6	16,0	11,8	7,8	5,8	4,7	3,9	3,3	2,9	2,6	2,3		100,0	85	74	61	52	45	40	36	35	35	35	35	
20		93	55	38	29	20	15	12	10	8	7,6	6,8	6,1	350	98,8	81	71	61	52	45	40	36	35	35	35	35	
		59	26,4	17,0	12,6	8,3	6,1	5,0	4,1	3,5	3,1	2,7	2,4		100,0	85	74	61	52	45	40	36	35	35	35	35	
21		95	57	40	30	21	16	13	11	9	7,9	7,0	6,4	400	98,9	84	74	62	55	49	45	45	45	45	45	45	
		64	28	18,2	13,5	8,8	6,5	5,3	4,4	3,7	3,3	2,9	2,6		100,0	85	74	61	52	45	40	36	35	35	35	35	
22		97	59	41	32	21	16	13	11	9	8	7,3	6,6	450	99,1	86	76	64	56	50	45	45	45	45	45	45	
		69	30	19	14,3	9,4	6,9	5,6	4,6	4,0	3,5	3,1	2,8		100,0	85	74	61	52	45	40	36	35	35	35	35	
23		99	61	42	33	22	17	13	11	10	8	7,6	6,8	500	99,2	87	78	66	58	52	47	47	47	47	47	47	
		74	32	20	15	9,9	7,4	5,9	4,9	4,2	3,7	3,3	2,9		100,0	85	74	61	52	45	40	36	35	35	35	35	
24		99,9	63	44	34	23	17	14	12	10	9	7,8	7,0		100,0	85	74	61	52	45	40	36	35	35	35	35	
		71	34	22	16	10	7,7	6,3	5,2	4,4	3,9	3,4	3,1		100,0	85	74	61	52	45	40	36	35	35	35	35	
25		100,0	65	45	35	24	18	14	12	10	9	8	7,3		86,3	36	28	17	11	8	7	6	5,5	5,5	5,5	5,5	

forsøgsprogram, der har løbet siden september 1954. Dette program har bl. a. omfattet bestemmelse af danske gruskomponenters alkalireaktivitet samt bestemmelse af alkalireaktionsforløbets afhængighed af udgangsmaterialernes sammensætning og blandingsforhold i betonen. Vurderingen af de danske grusmaterialers betonteknologiske egenskaber er derfor i princippet enkel, idet der blot kræves en »standardanalyse«, som beskrevet i forrige afsnit, samt en korrelation med resultaterne af udvalgets forsøgsprogram.

For de udenlandske grusmaterialers vedkommende foreligger ikke en tilsvarende vurderingsbasis. Som udgangspunkt for en teknisk bedømmelse kræves derfor ofte en videregående petrografisk analyse og geologisk vurdering end tilfældet er for de indenlandske materialer.

Det flg. fremlægger nogle typiske eksempler på problemstilling, analyse og teknisk bedømmelse ved sådanne undersøgelser.

1. Danske grusmaterialer

Der er hidtil undersøgt 11 prøver af danske, kvartære grusforekomster. Alle undersøgelser er udført med den i forrige afsnit beskrevne »standardmetode«. Fig. 2 viser prøvernes lokalisering og totalsammensætning. Figuren illustrerer, at afhængigheden mellem sammensætning og kornstørrelse er et fælles træk for alle grusprøver, et træk, B. SØNDERGAARD også har påvist ved sine undersøgelser af danske grusforekomster. I stenfraktionen er de alkalireaktive komponenter, flintbjergarterne, stærkt fremtrædende, medens indholdet heraf er ringe i sandfraktionen. Flintindholdet synes at være særligt ringe i sandet i det sydfynske øhav, et træk, der også er konstateret ved undersøgelse af beton støbt med sandmateriale fra dette område. For en videregående geologisk og petrografisk vurdering af de danske grusforekomster henvises til en større undersøgelse af B. SØNDERGAARD. Her skal blot omtales to undersøgelser, der kan tages som typiske m.h.t. problemstilling og vurdering. Det skal bemærkes, at vurderingen i hvert enkelt tilfælde kun refererer til den undersøgte prøve samt til materialer, der nøje svarer hertil.

a. Stenprøve fra Liv tap og sandprøve fra Aarupgård grusgrav, Horsens.

Undersøgelsens formål. Materialer svarende til disse prøver tænkes anvendt som tilslag ved støbning af betonbro i Nordjylland. Der ønskedes en vurdering af alkalireaktionsforløbet i betonen ved et bestemt blandingsforhold (cement ca. 13 %, vand ca. 7 %, tilslag ca. 80 %, sand: sten = 42:58).

Forklaring til tabellen. N = antal optalte korn; n = antal korn af en bestemt art; tallene i tabellen = 95 %-konfidensintervaller. Eksempel: af 300 talte korn udgør kvarts 30 stk. (ell. 10 %). Ved at gå ind i tabellen under N = 300 og n = 30 fås 95 %-konfidensintervallet 7—14. Dette betyder, at der er 95 % sandsynlighed for at intervallet fra 7 % til 14 % omslutter middelværdien af indholdet af kvarts i undersøgelsesmateriale. — I teorien gælder tabellen kun for to-komponentsystemer, men kan i praksis uden væsentlig usikkerhed anvendes på systemer med indtil ca. 10 komponenter.

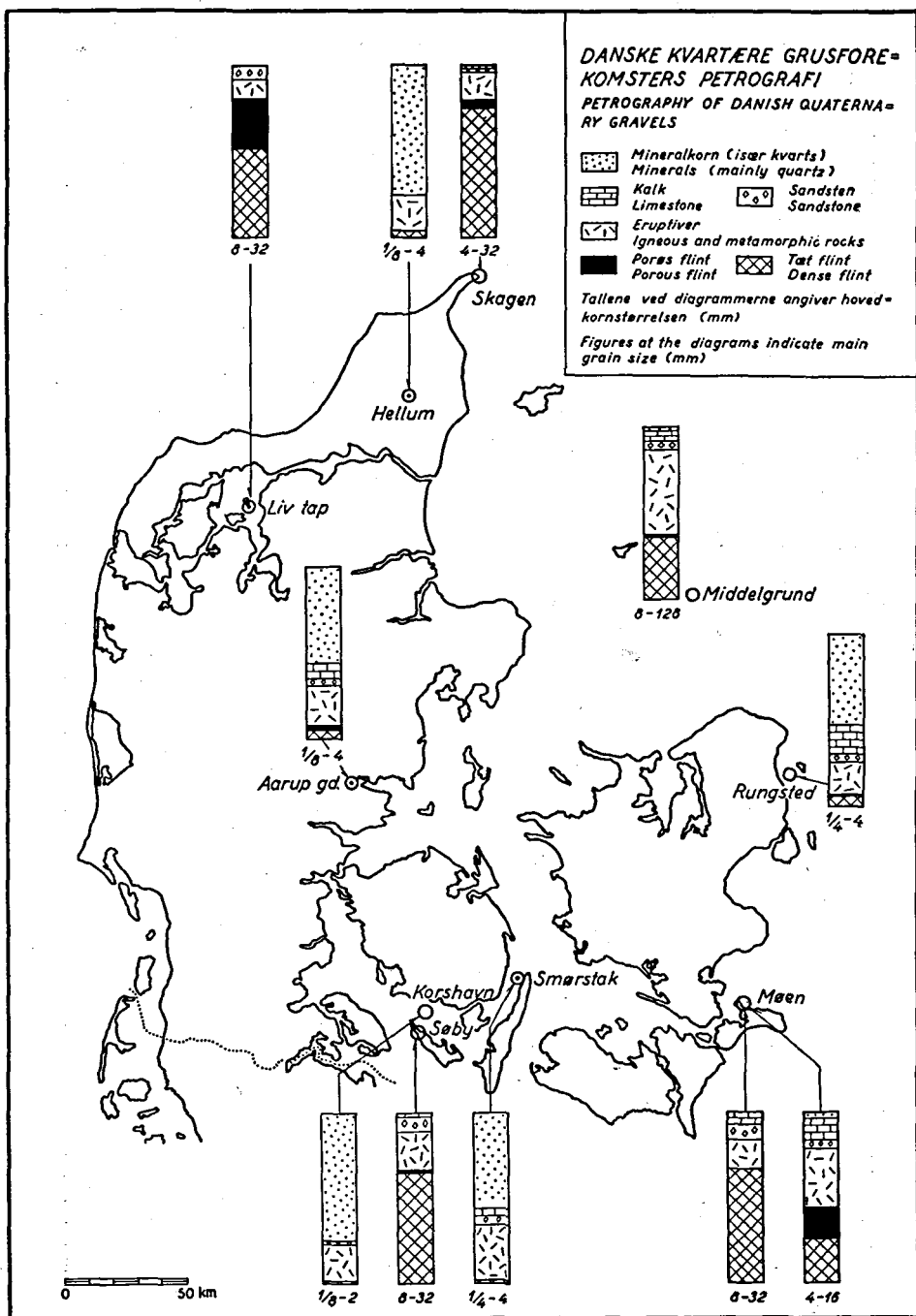


Fig. 2.

Petrografisk analyse. Begge prøver er ret velsorterede. Porøse partikler udgør ca. 30 % af stenfraktionen og kun ca. 3 % af sandet. Materialernes mineralogiske totalsammensætning fremgår af fig. 2. Stenene indeholder ca. 50 % tæt og ca. 30 % porøs flint, medens sandets indhold af disse komponenter er henholdsvis ca. 5 % og ca. 3 %.

Teknisk vurdering. 1. Materialet er i lighed med andre danske grusforekomster alkalireaktivt og vil fremkalde alkalireaktioner i betonen. Korrelation med resultaterne af udvalgets forsøgsprogram viser, at foreliggende komponentforhold svarer til området for skadelige alkalireaktioner, såfremt der anvendes almindelig cement ved støbningen. Processernes skadelighed kan imidlertid nedsættes eller elimineres, såfremt der anvendes cement med lavt alkaliindhold, forudsat bygværket ikke får alkali-tilskud fra omgivelserne. 2. Materialet indeholder betydelige mængder af porøse, frostfarlige partikler. Der foreligger derfor mulighed for frostforvitring på udsatte steder.

b. Sand fra Smørstakken, Lohals og sand fra Korshavn, Avernåke.

Undersøgelsens formål. En af de nævnte forekomster tænkt anvendt som sandfraktion i tilslag ved støbning af betonbro i det sydfynske øhav. Der ønskedes en udtalelse om, hvilket sandmateriale, der var bedst egnet hertil.

Petrografisk analyse. Sorteringen er ret god i begge prøver. Hovedfraktionsintervallerne og den mineralogiske totalsammensætning fremgår af fig. 2. Begge prøver indeholder ca. 1½ % tæt og ca. ½ % porøs flint. Flg. tabel viser den procentiske fordeling af kornformer og overfladeegenskaber i prøverne.

SANDPRØVE	Form		Overfladetextur				
	Kompakt	Lang + flad	Skarp	Kant-rundet	Af-rundet	Ru	Glat
Smørstakken	66	34	9	77	14	47	53
Korshavn	85	15	8	77	15	23	77

Teknisk vurdering. De to prøver er m. h. t. alkalireaktivitet så ensartede, at valget mellem dem ikke kan foretages på dette grundlag. Sandet fra Smørstakken indeholder ca. dobbelt så mange lange + flade og ru korn som Korshavnprøven. Førstnævnte materiale kan derfor forventes at kræve størst vandforbrug ved støbningen og derfor af hensyn til betonens styrke størst cementforbrug. Dette forhold samt leveringsomkostningerne må bestemme valget mellem materialerne.

2. Basaltgrus fra Qutdligssat, Vestgrønland

Undersøgelsens formål. Strandsten fra Qutdligssat, Vestgrønland tænkt anvendt som stenfraktion i tilslag ved betonstøbning. En prøve af materialet ønskedes undersøgt for indhold af bjergarter, der kan være skadelige for betonens holdbarhed.

Områdets geologi. Fig. 3 viser det geologiske kort over området. Dette domineres af den km-tykke, tertiære basaltformation. Underlejret denne findes tertiære og kretasiske sedimentformationer. Basalt-sedimentkomplekset er forkastningsbegrænset mod det østfor liggende grundfjeld.

Petrografisk analyse. Prøven bestod af 4 kornfraktioner (0—1, 1—16, 16—32, 32—64 mm). Kornfraktionernes procentiske sammensætning er bestemt med det i flg. tabel viste resultat. Fraktionen 0—1 mm udgør kun en lille brøkdelen af den samlede prøve.

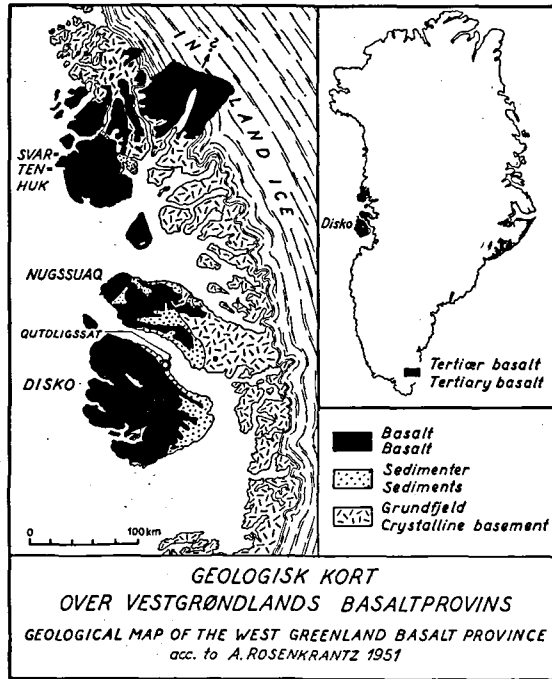


Fig. 3.

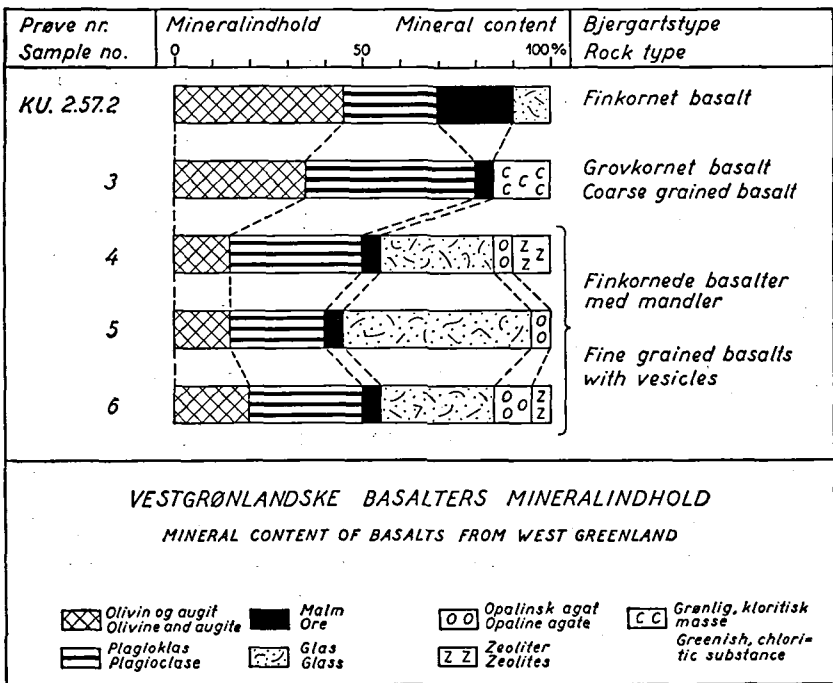


Fig. 4.

KOMPONENT	Kornfraktion (mm)			
	0—1	1—16	16—32	32—64
Basalt	7	88	92	100
Basalt med zeolitmandler	—	1	1	—
Granit, gnejs o. l.	—	9	7	—
Sandsten.....	—	+	+	—
Mineralkorn (især kvarts).....	93	2	—	—
Andet	—	+	—	—

Mineralindholdet i den dominerende komponent, basalten er belyst ved undersøgelse af 5 tyndsnit. Resultatet er vist i fig. 4. Heraf ses, at der optræder flg. komponenter, der kan være potentielt skadelige for betonen, nemlig zeolit (sml. p. 79), opal og glas. De to førstnævnte findes kun i basalt med mandler. Da denne bjergartstype udgør en meget ringe del af stenprøven, er zeolit og opal mængdevis ret betydningsløse komponenter. Glas findes derimod i finkornede basalter både med og uden mandler og må derfor betragtes som en væsentlig komponent i prøven som helhed. Glasset er overvejende lyst til mørkt brunt, sjældnere grønligt, stedvis næsten opak. Det findes som grundmasse mellem de krystallinske mineraler, hvilket er vist på fig. 8, p. 92. Af hensyn til vurdering af glassets alkaliopløselighed blev finkornede basalter undersøgt ved hjælp af hurtig kemisk metode. Analysen viste, at materialet er alkalireaktivt. — Forholdet olivin:augit er ca. 1:1. Opak malm, der udgør ca. 20 % af (KU. 57. 2. 2.), optræder som 1) kubiske krystaller (sandsynligvis magnetit), 2) langstrakte krystalskeletter (sandsynligvis ilmenit) og 3) uregelmæssige, dendritiske formationer.

Geologisk vurdering. Stenprøvens sammensætning viser god overensstemmelse med formationsfordelingen på det geologiske kort (fig. 3). Basaltformationen, der dominerer i området, gør sig stærkt gældende i prøvens grove fraktioner, medens sedimentseriens indflydelse spores i sandfraktionens betydelige kvartsindhold. Grusmaterialet kan derfor antages at være af lokal oprindelse.

Glassubstans svarende til det alkaliopløselige glas i foreliggende prøve kendes fra andre dele af den vestgrønlandske basaltprovins (A. NOR-NYGAARD, 1942). Det kan derfor antages, at være et karakteristisk element i denne basaltserie.

Teknisk vurdering. Stenmaterialet indeholder alkaliopløselige komponenter og vil anvendt som betontilslag fremkalde alkalireaktioner i betonen. Hvorvidt reaktionerne vil være skadelige, afhænger dels af sammensætningen af det sandmateriale, der skal indgå i tilslaget, dels af blandingsforholdet for sten og sand. Oplysninger om sandmaterialet foreligger ikke, hvorfor der heller ikke foreligger grundlag for sikker stillingtagen til spørgsmålet om betonskader. Der kan imidlertid foreslås flg. løsninger:

1. Fastlæggelse af et for uskadelige alkalireaktioner gunstigt blandingsforhold for tilslagskomponenterne gennem mørtelprismeforsøg.

2. Såfremt materialet ønskes benyttet ved betonstøbning inden sådanne blandingsforhold er bestemt, kan risiko for skadelige alkalireaktioner nedsættes ved anvendelse af cement med lavt alkaliindhold og tilsætning af puzzolan.

Puzzolan er finmalet kisel, der fremkalder spontan alkalireaktion, hvorved cements alkali opbruges, inden betonen størkner. En egnet cement med indmalet puzzolan i form af moler og lavt alkaliindhold fabrikeres af de danske cementfabrikker.

3. Anvendelse af et andet, inaktivt stenmateriale.

Angående forekomster af inaktive stenmaterialer kan flg. fremføres. Strandstenenes sammensætning i et givet område må antages at svare ret nøje til sammensætningen af områdets faststående geologiske formationer, hvilket finder bekræftelse i foreliggende undersøgelse. Inden for den vestgrønlandske basaltprovins, hvis udbredelse fremgår af fig. 3, må basalt derfor antages at dominere i strandstensforekomsterne. Da der i alle dele af basaltformationen kan forventes at optræde alkaliopløselig glassubstans, er det lidet sandsynligt, at der inden for basaltområdet kan træffes større forekomster af strandmaterialer, bedre egnet til betonstøbning end det her undersøgte. Basaltprovinzen udgør imidlertid kun en mindre del af Grønlands samlede kystområde, der for vestkystens og den sydlige del af østkystens vedkommende hovedsagelig består af krystallinske grundfjeldsformationer. I disse områder vil grusforekomster væsentligst bestå af gnejs, glimmerskifer o.l., der må antages at være alkaliinaktive (se bl. a. MIELENZ, 1954). Størstedelen af Vestgrønlands grusmaterialer udenfor basaltprovinzen kan derfor antages at være velegnede som tilslag ved betonstøbning. Der må dog tages et vist forbehold m. h. t. de forekomster, der indeholder sulfider i større mængde (sml. p. 79).

3. Tungspatgrus fra Vidauban, Sydfrankrig

Undersøgelsens formål. Tungspatgrus, repræsenterende tilslagsmateriale til støbning af tung, strålingsbeskyttende beton i forbindelse med bygning af atomreaktoranlæg, er undersøgt for at klarlægge 1) hvorvidt der fandtes alkalireaktiv kisel i materialet og 2) årsagen til at tilslaget ikke holdt den ønskede vægtfylde $4,5 \text{ g/cm}^3$.

Områdets geologi. Tungspatgruset opgives at stamme fra byen Vidauban i Sydfrankrig. Fig. 5 viser det geologiske kort over området. Dette består af to hovedenheder:

1. Krystallinske massiver, repræsenterende rester af den variskiske foldekæde, der dannedes i kultiden.
2. Sedimentformationer, væsentligst repræsenteret ved dannelser fra perm- og triastiden.

De krystallinske massiver gennemses af forskellige slags gange, bl. a. tungspatgange, hvis beliggenhed er vist på fig. 5.

Petrografisk analyse. Undersøgelsesmaterialet består af 3 prøver, hver inddelt i 4 kornfraktioner (0—2, 2—5, 5—20, 20—40 mm). Mineralogisk består materialet af flg. komponentgrupper.

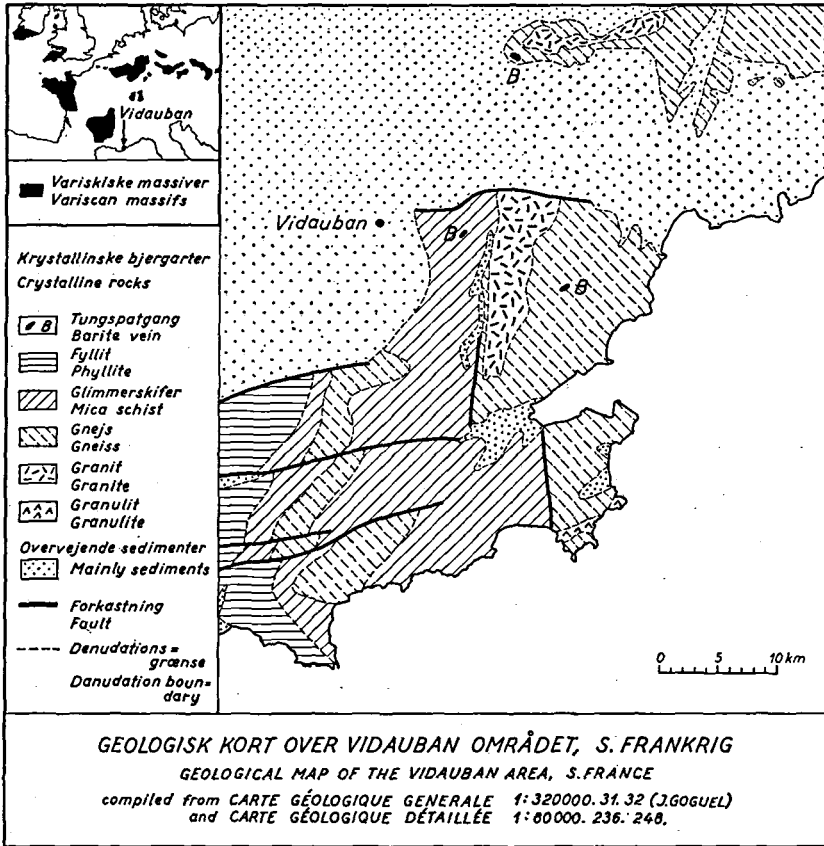


Fig. 5.

1. Tungspatbjergart, tæt, hvid til grålig, undertiden ret mørk. Dels spaltestykker af ren tungspat, dels bjergartsfragmenter opbygget af tungspat, flusspat og kvarts.
2. Tungspatbjergart, porøs, hvidlig, bestående af tungspat, flusspat og kvarts. Porositeten delvis knyttet til forvitringsoverflader.
3. Lette bestanddele, overvejende glimmerskifer, desuden mindre mængder af amfibolit samt mineralerne flusspat og kvarts.

Fig. tabel viser komponentgruppernes procentiske fordeling i en grusprøve (199. 3. c).

KOMPONENT	Kornfraktion (mm)			
	0—2	2—5	5—20	20—40
1. Tungspatbjergart, tæt.....	90	95	95	91
2. Tungspatbjergart, porøs.....	—	4	5	3
3. Lette bestanddele.	10	1	+	6

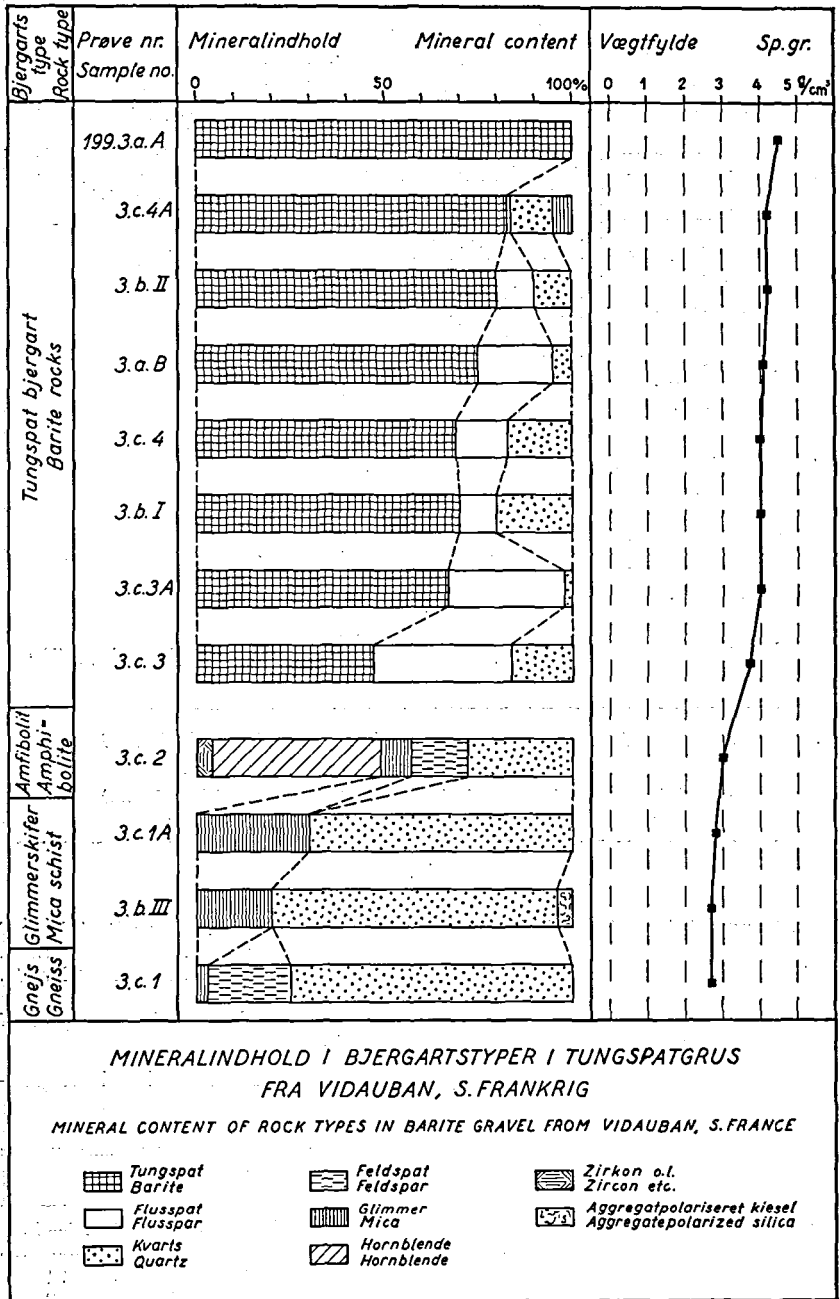


Fig. 6.

I de tre grove fraktioner optræder materialet væsentligst som bjergartsfragmenter, i den fineste fraktion som mineralkorn.

En nærmere karakterisering af de forskellige bjergartstypers egenskaber og sammensætning er foretaget ved petrografering af tyndsnit. Mineral-sammensætningen er vist i fig. 6 p. 90. Her er tillige anført bjergarternes vægtfylde, beregnet på basis af mineralsammensætning og mineralernes vægtfylde.

Tungspatbjergarternes mineralselskab er tungspat, flusspat og kvarts. Desuden findes et ganske lille indhold af opak malm, samt i (199. 3. c. 4 A) små mængder af brunlig, finkornet glimmeragtig masse. Alkalireaktiv kisel er ikke iagttaget. En undersøgelse ved hj. af hurtig kemisk metode har vist, at tungspatbjergarterne er alkaliinaktive. Fig. 7 viser et typisk billede af tungspatbjergartens tekstur. Heraf ses, at bjergartens grundmonster udgøres af store tungspatkrystaller. Disse omvokses af velkrystalliseret flusspat. Endelig omslutes både tungspat og flusspat af kvartsen.

I en glimmerskifer (199. 3. b. III) er et lille indhold af aggregatpolariseret, muligvis alkaliopløselig kisel konstateret.

Vægtfylden (se fig. 6) varierer for tungspatbjergarternes vedkommende fra 4,5 for ren tungspat til 3,7 for flusspat- og kvartsrig bjergart. De lette bjergarters vægtfylde ligger i området fra 2,7 til 3,0.

Geologisk vurdering. Tungspatbjergarterne repræsenterer en tungspatgang. De lette bjergarter, glimmerskifer, gnejs og amfibolit må antages at repræsentere tungspatgangens sidesten. Glimmerskiferens dominans blandt disse bjergarter tyder på, at gruset stammer fra den tungspatforekomst, der ligger nærmest byen Vidauban (se fig. 5). En del af de porøse tungspatbjergarter repræsenterer sandsynligvis gangens forvitrede overflade.

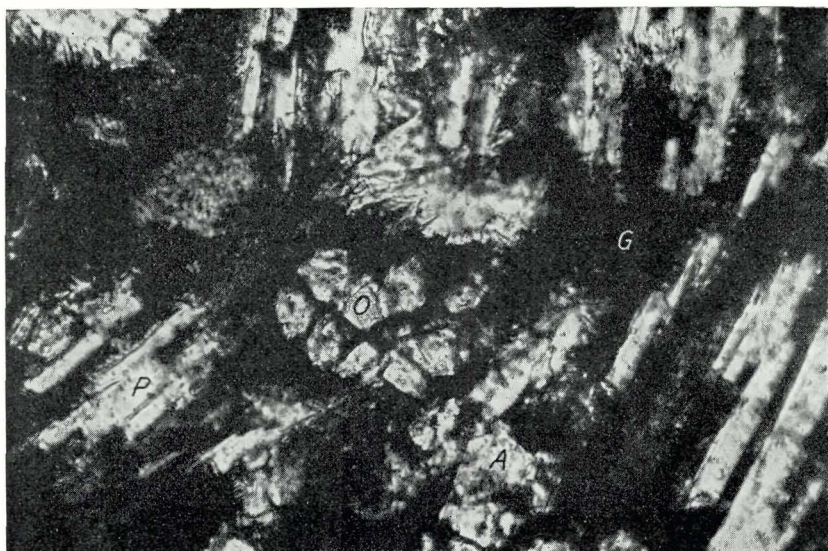
Tungspatgangens hovedminerale er tungspat, flusspat og kvarts. Ifølge teksturforholdene er paragenesen eller dannelsesrækkefølgen således: 1. tungspat, 2. flusspat, 3. kvarts, (se bl. a. E. S. BASTIN, 1950, p. 60). Mineralgangen kan ifølge sammensætningen antages at være af epithermal type, d.v.s. dens dannelsesstemperatur ligger i området 50—200°C. I sådanne gange kan alkaliopløselige mineraler som kalcedon og opal optræde. Disse er imidlertid ikke konstateret. Tungspatgange af øjensynlig samme type som Vidauban-gangene kendes fra det franske centralmassiv, hvor de er dateret til tertiær (se bl. a. S. VON BUBNOFF, 1930).

Teknisk vurdering.

1. Alkalireaktiv kisel findes ikke eller kun i meget ringe mængde i gruset, hvorfor dette kan benyttes som betontilslag uden at særlige forholdsregler mod alkalireaktioner træffes.
2. Årsagen til, at grusmaterialets vægtfylde er mindre end 4,5 g/cm³ er tilstedeværelse af flg. komponenter.
 - a. Glimmerskifer o.l. bjergarter fra forekomstens sidesten.
 - b. Porøse tungspatbjergarter, delvis repræsenterende forvittringshorisont i tungspatgangenes overflade.
 - c. Lette mineraler, navnlig kvarts og flusspat i selve tungspatbjergarten.



E. Poulsen, fot.
 Fig. 7. Tungspathjergart (199. 3. a.B.), Vidauban, S. Frankrig. || Nic. $\times 100$.
 T = tungspat; F = flusspat; K = kvarts.
 Barite rock, Vidauban, Southern France. T = barite; F = flusspar; K = quartz.



Hjorth Petersen, fot.
 Fig. 8. Finkornet basalt (K. U. 2. 57. 5.), Qutdligssat, Vestgrønland.
 || Nic. $\times 350$. O = olivin; A = augit; P = plagioklas; G = glas.
 Fine grained basalt, Qutdligssat, West Greenland.
 O = olivine; A = augite; P = plagioclase; G = glass.

Ved produktion af tungspatgrus kan komponenterne a og b muligvis undgås, idet disse repræsenterer forekomstens omgivelser, henholdsvis sidesten og overfladelag. Komponent c udgør derimod en integrerende del af selve tungspatgangen og vil som sådan altid indgå i grusproduktet med mindre dette raffineres gennem vægtfylde-sortering ell. lign. Det er derfor sandsynligt, at der fra en tungspatforekomst med mineralsammensætning svarende til det her undersøgte materiale ikke uden betydelige omkostninger kan produceres grusmaterialer med vægtfylde 4,5 g/cm³.

AFSLUTTENDE BEMÆRKNINGER

Den fremlagte redegørelse for undersøgelse af grus til betonstøbning er et eksempel på geologiens og petrografiens anvendelsesmuligheder ved vurderingen af et mineralsk råstofs tekniske udnyttelse. Ingen af grusundersøgelserne kunne udføres tilfredsstillende uden petrografisk analyse, og en del af undersøgelserne krævede tillige en geologisk fortolkning af analyseresultatet som basis for den tekniske vurdering. Sådanne undersøgelser repræsenterer derfor et arbejdsområde for den anvendte geologi.

På den anden side er der forhold ved både metodik og undersøgelsesobjekter, der kan have interesse for den videnskabelige geologi. I den sedimentpetrografiske forskning kan den udarbejdede metodik, bl. a. statistikken og den systematiske, kvantitative bestemmelse af kornegenskaber (form, overfladetekstur m.v.) finde udmærket anvendelse ved karakterisering af sedimenter og vurdering af disses oprindelse og dannelsesforhold.

Alkaliudvalgets petrografiske laboratorium.
Oktober 1958.

SUMMARY

Gravel for Concreting

This article has been prepared on the basis of examinations carried out by the petrographic laboratory of the Committee on Alkali Reactions in Concrete.

The following properties of gravel (sand and stone) are of major importance in the sense of concrete technology: 1) Grading, 2) Physical properties (a) shape, (b) texture of surface, (c) hardness, (d) specific gravity, (e) porosity, 3) Mineralogical composition 4) Chemical stability. Some minerals are unstable in concrete, due to oxidation, hydration etc. (e.g. pyrite) or to ability to react chemically with components of the cement-paste (e.g. sulphates, zeolites, organic matter, silica in an amorphous or low crystalline order). Reactivity of these types may seriously decrease the strength and durability of concrete.

A survey of the method used for examinations of aggregates is shown in Fig. 1 (p. 80). Composition with respect to rock types, minerals and physical properties are determined quantitatively. The representativity of analytical results obtained in this way is checked by means of applied statistics. For this purpose tables of 95% confidence intervals (see p. 82) have been prepared by Ervin Poulsen, C. E. (1958).

Aggregate samples originating from Denmark including Greenland, and Southern France, East Africa etc. have been examined by means of the method presented.

Danish aggregates. The preponderant problem has been to determine the characteristics and quantity of alkalireactive components as basis for evaluation of the risk of expansive alkali reactions in concrete for which it has been intended to use the aggregate.

All quaternary, sedimentary gravel deposits in Denmark are known to contain alkalireactive materials, i.e. flint etc. Fig. 2 (p. 84) represent total mineral composition of examined samples. Generally the contents of alkalireactive rocks are found to be high in coarse fractions and low in fine fractions.

Evaluation of probable development and effects of alkali reactions by using the examined aggregates is made by correlating the analytical results with the other phases of research carried out by the Alkali Committee.

Basalt Gravel from Qudligssat, West Greenland. The origin of this aggregate is shown in Fig. 3 (p. 86). The major constituent was found to be basalt, the mineral composition of which is presented in Fig. 4 (p. 86). The glassy substance, the mode of occurrence of which is illustrated in Fig. 8 (p. 92), was found to be highly alkalireactive. Inside the West Greenland basalt province (see Fig. 3, p. 86) basalt is the main constituent in the gravel, while gneiss, mica schist etc., which are non-reactive and suitable as concrete aggregates, dominates the gravel deposits outside this province.

Barite Gravel from Vidauban, Southern France. The origin of this aggregate is shown in Fig. 5 (p. 89). It was planned to be used in heavy shielding concrete for an atomic reactor. The scope of examination was 1) to determine the alkali reactivity and 2) to find the reason why the sp. gr. was less than 4,5 g/cm³.

Fig. 6 (p. 90) shows the composition and specific gravity of rock types (barite rocks, amphibolite, mica schist, gneiss) from the gravel.

The barite rock contains barite, flusspar and quartz, and originate probably from an epithermal vein. The texture shown in Fig. 7 (p. 92) indicates the following paragenesis: 1. barite, 2. flusspar, 3. quartz. The alkalireactive minerals opal and chalcedony may occur in such veins, but have not been observed in the samples examined. Hence the aggregates were characterized as non-reactive. The rock types amphibolite, mica schist and gneiss probably represent the vein walls.

The low sp. gr. of the aggregate must be due to

1. Occurrence of rocks from the vein walls
2. Occurrence of quartz and flusspar in the barite rocks.

This brief survey of the paper intends to demonstrate the usefulness of geological knowledge and petrographic methods by evaluating the utilization of mineral raw materials in modern building techniques.

LITTERATUR

- BASTIANSEN, R., J. MOUM & I. TH. ROSENQVIST, 1957. Bidrag til belysning av visse bygningstekniske problemer ved Oslo-området alunskifre. Norges Geotekniske Institut. Nr. 22. Oslo.
- BASTIN, E. S., 1950. Interpretation of Ore Texture. Geol. Soc. of America. Memoir 45. New York.
- BLANKS, R. F. & H. L. KENNEDY, 1955. The Technology of Cement and Concrete. Vol. I. Concrete Materials. New York, London.
- v. BUBNOFF, S., 1930. Geologie von Europa. II. Band. Das ausseralpine Westeuropa. I. Teil. Kaledoniden und Varisciden. Berlin.
- GRY, H. & B. SØNDERGAARD, 1958. Flintforekomster i Danmark. Committee on Alkali Reactions in Concrete. Progress Report. D 2. København.
- IDORN, G. M., 1957. Concrete Deterioration of a Foundation. Acta Polytechnica. Civil Engineering and Building Construction Series. Vol. 4. No. 3. 221. Akademiet for de tekniske Videnskaber.
- 1958. Undersøgelse af skader i slaggebetonplader. Beton-Teknik. Nr. 4. København.
- JENSEN, A. TOVBORG, C. J. VØHLK, K. DRENCK & E. KROGH ANDERSEN, 1957. A Classification of Danish Flints etc. Based on X-Ray Diffractometry. Committee on Alkali Reactions in Concrete. Progress Report. D 1. København.
- MIELENZ, R. C., 1954. Petrographic Examination of Concrete Aggregate. American Society for Testing Materials. Vol. 54. Philadelphia.
- NOE-NYGAARD, A., 1942. On the Geology and Petrography of the West Greenland Basalt Province. Medd. om Grønland. Vol. 137. No. 3. København.

- PLUM, N. M., E. POULSEN & G. M. IDORN, 1957. Foreløbig oversigt over alkalireaktioner i beton i Danmark. Ingeniøren. Nr. 27 & 28. København.
- POULSEN, E., 1958. Preparation of Samples for Microscopic Investigation. Committee on Alkali Reactions in Concrete. Progress Report. M 1. København.
- ROSENKRANTZ, A., 1951. Oversigt over Kridt- og Tertiærformationens stratigrafiske Forhold i Vestgrønland. Medd. fra Dansk Geol. Forening. Bd. 12. P. 155-158. København.
- SUENSON, E., 1942. Byggematerialer III. Natursten. København.
- SØNDERGAARD, B., 1959. Flinten i danske, kvartære grusforekomster. Committee on Alkali Reactions in Concrete. Progress Report. E 1. København.