

SB1 - pub.

THE DANISH NATIONAL INSTITUTE
OF BUILDING RESEARCH AND THE
ACADEMY OF TECHNICAL SCIENCES

DK 666.97.015.8:666.97.015.263

COMMITTEE ON ALKALI REACTIONS IN CONCRETE

Alment om alkali reaktioner i beton

Alkali Reactions in Concrete - General

With an English Summary

P. NERENST

PROGRESS REPORT

AI

COPENHAGEN 1957

Statens Byggeforskningsinstitut

Bibliotekseksemplar 2

COMMITTEE ON ALKALI REACTIONS IN CONCRETE

20 Borgergade Copenhagen K Denmark

In 1951 The Danish National Institute of Building Research (DNIBR) started a preliminary investigation of concrete structures in Denmark to see whether observed phenomena of deterioration could be traced to reactions between alkalies and reactive silica of the aggregate. The result of field observations carried out by the DNIBR staff members Mr. Poul Nerenst C. E. and later also by Mr. G. M. Idorn C. E., supplemented by experiments at the laboratory of Messrs. F. L. Smidth & Co., strongly supported this hypothesis.

In consequence a joint general committee was appointed by the Academy of Technical Sciences (ATV) and DNIBR, which should look into the various technical and practical problems of the matter.

On August 23rd 1954 this general committee held its first meeting and formed an executive committee and three subcommittees responsible for the following phases of work: Field investigations (I), Investigation of aggregate (II), Laboratory investigations (III).

In September 1956 the executive committee appointed a committee on publications of three members, responsible for the progress reports (IV).

The following list gives the names of all members and the institutions or organizations, which the members are representing.

P. KERN JESPERSEN C. E., ATV and DNIBR, chairman of the general committee and executive committee, member of (IV).

JOHS. ANDERSEN C. E., Head of Building Materials Section, Danish State Laboratory, member of (III).

A. H. M. ANDREASEN Professor D. Sc., Technical University of Denmark, member of (III).

A. EFSSEN Professor D. Sc., Technical University of Denmark, member of (III).

O. GLARBO C. E., Technical University of Denmark, member of (III).

H. GRY D. Sc. State Geologist, Geological Survey of Denmark, member of (II).

T. HEILMANN C. E., ATV, chairman of (III), member of executive committee.

A. JEPPESEN C. E., Head of Bridge Section II, Danish State Railways, chairman of (I), member of executive committee.

I. JØRGENSEN C. E., Surveyor of Highways, Danish Institution of Civil Engineers, member of (I).

K. STEEN KRISTENSEN C. E., Carl Nielsen Ltd., member of (II).

C. KÄHLER C. E., Association of Gravel and Crushed Stone Producers, member of (II).

ERIK V. MEYER C. E. D. Sc., The Cement Factories, member of (I) and (III).

POUL NERENST C. E., DNIBR, secretary until October 1st 1956, member of (IV).

K. OTTERSTRØM C. E., Board of Maritime Works, member of (I).

HANS PAULY M. Sc., appointed by the committee, member of (I) and (II).

H. PETERSEN C. E., Municipal Engineer, Danish Institution of Civil Engineers, member of (I).

NIELS MUNK PLUM C. E., DNIBR, chairman of (II), member of executive committee and (IV). Secretary after October 1st 1956.

The chairmen of the general committee and of the subcommittees are forming the executive committee, which is responsible for the economy and the coordination of the work. Mr. Poul Nerenst C. E., DNIBR, has acted as secretary to all committees until October 1st 1956 where he was succeeded by Mr. Niels Munk Plum C. E., DNIBR.

I 1951 påbegyndte Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) en indledende undersøgelse af betonbygværker i Danmark for at få konstateret, om observerede eksempler på ødelæggelse kunne hidrøre fra reaktioner mellem alkalier og reaktivt kisel i tilslagsmaterialerne. Resultatet af markundersøgelserne, der blev udført af civilingeniør Poul Nerenst og senere også civilingeniør G. M. Idorn, begge fra SBI, suppleret af forsøg på F. L. Smidth & Co.'s laboratorium, understøttede kraftigt denne hypotese.

Som følge heraf nedsatte Akademiet for de Tekniske Videnskaber og SBI et plenarudvalg, der skulle tage sig af sagens forskellige tekniske og praktiske problemer.

Den 23. august 1954 holdt dette udvalg sit første møde og dannede et forretningsudvalg og 3 underudvalg, der skulle have ansvaret for følgende arbejdsområder: Markundersøgelser (I), grusundersøgelser (II), laboratorieundersøgelser (III).

I september 1956 nedsatte forretningsudvalget et redaktionsudvalg på 3 medlemmer, der skulle forestå udsendelsen af publikationer om undersøgelsen (IV).

I den følgende liste findes navnene på alle medlemmerne samt de institutioner eller organisationer, medlemmerne repræsenterer.

Formændene for plenarudvalget og underudvalgene danner forretningsudvalget, der er ansvarligt for arbejdets økonomi og koordinering. Civilingeniør Poul Nerenst, SBI, har fungeret som sekretær for alle udvalgene indtil 1. oktober 1956, hvor han efterfulgtes af civilingeniør Niels Munk Plum, SBI.

THE DANISH NATIONAL INSTITUTE
OF BUILDING RESEARCH AND THE
ACADEMY OF TECHNICAL SCIENCES

COMMITTEE ON ALKALI REACTIONS IN CONCRETE

Progress Report Serie A - Nr. 1

ALMENT OM ALKALIREAKTIONER I BETON

ALKALI REACTIONS IN CONCRETE - GENERAL

af

P. Nerenst, civilingeniør

With an English Summary

00913 P

Poul Nerenst f. 1918. Civilingeniør (B) 1942. Ansat ved Teknisk Central samme år. 1943-45 tilsynsførende ved motorvejen på Lolland. 1945-48 leder af tilsynsarbejdet i Kastrup Lufthavn. 1948-1956 ved Statens Byggeforskningsinstitut. 1950-51 studierejse til USA. Ansat i A/S Rockwool 1956-. Medlem af American Concrete Institute (ACI) 1954-. Medlem af American Society for Testing Materials (ASTM) 1956-. Personligt medlem af Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions (R.I.L.E.M.) 1955-. Medlem af bestyrelsen for Dansk Betonforening fra 1951. Ordfører for Nordisk Betonforbunds Forskningskomite fra 1957.

INDHOLD

Indledning	3
Betons holdbarhed	4
Historisk oversigt over alkalireaktioner	7
Thomas Stanton	7
Bureau of Reclamation	11
Corps of Engineer	12
Bureau of Public Roads	12
Undersøgelser udenfor USA	13
Prøvemetoder ved undersøgelse af alkalireaktioner	14
Ekspansion af mørtelprismer	14
Duplikering af blandingsforhold	15
Forsøg med standardmaterialer	16
Vurdering af tilsætningsmidler	17
Hurtig kemisk metode	17
Petrografisk identifikation af reaktivt materiale ..	18
Andre metoder	18
Alment om alkalireaktioner i beton	19
Mekanismen i alkalireaktioner	19
Skadelige alkalireaktioner	20
Reaktionsbetingelser for alkalireaktioner	20
Betons alkaliindhold	21
Reaktivt grusmateriale	22
Vand	22
Ugunstigste blandingsforhold	23
Sekundære variable	23
Temperaturen	23
Cementmængden	24
Vandindholdet	24
Betonens kompakthed	24
Slutning	24
Figurer	26
Litteratur	38
English Summary	47

1. INDLEDNING

I Danmark har enkelte, der beskæftiger sig med beton, været inde på tanken, at alkalireaktioner kunne være en medvirkende årsag til de forvittringer, man af og til har kunnet iagttage i vore betonbygværker, men billedet har ikke været så klart i Danmark som eksempelvis i USA, idet mange af de iagttagne skader også kunne forklares ud fra en teori om, at nedbrydningen skyldtes frost og tø.

Jeg havde i 1950-51 lejlighed til at foretage en studierejse til USA, hvor jeg besøgte en lang række laboratorier, og da alkalireaktioner igennem mange år havde optaget sindene, var det naturligt, at man under diskussionen af de betonteknologiske emner også drøftede disse problemer.

Efter min hjemkomst fandt jeg nogle bygværker, hvis tilstand gjorde det naturligt at tænke på alkalireaktioner som en af årsagerne til forvitring. Af min daværende chef, civilingeniør Niels Munk Plum, Statens Byggeforskningsinstitut, fik jeg tilladelse til at foretage nogle orienterende undersøgelser. I denne forbindelse udførte mag.scient. Hans Pauly på Mineralogisk Museum en del petrografiske analyser og fastslog, at støbematerialerne til et af de ødelagte bygværker indeholdt opal, hvorfor jeg i min rapport vedrørende rejsen til USA gav udtryk for en formodning om, at ødelæggelsen delvis skyldtes alkalireaktioner (52 N 1). Ved de fortsatte undersøgelser, som civilingeniør G.M. Idorn deltog i fra januar 1952, blev det i samarbejde med F.L. Smidth & Co.'s laboratorium yderligere sandsynliggjort, at alkalireaktioner kunne finde sted i danske betonbygværker.

Som et resultat heraf nedsattes i sommeren 1954 et udvalg, hvis sammensætning fremgår af omslagets side 2.

Da arbejdet nu nærmer sig sin afslutning, vil der - som omtalt på omslagets side 3 og 4 - blive udsendt en serie foreløbige rapporter, der hver kun behandler en enkelt fase i det udførte arbejde.

Nærværende rapport har bl.a. til formål at give en bred orientering om alkalireaktioner i beton for at lette tilegnelsen af de kommende rapporter, der hver for sig kun er brudstykker af et mønster.

Der indledes med en diskussion af betons holdbarhed og de faktorer, der påvirker denne egenskab, for hermed at understrege, at alkalireaktioner kun er en enkelt side af holdbarhedsproblemet. Derefter følger en historisk redegørelse for, hvorledes erkendelsen af disse processers natur er blevet udvidet gennem omfattende laboratorieforsøg i USA. I et følgende af-

snit gives en oversigt over de anvendte prøvemethoder, og der afsluttes med en oversigt over reaktionsbetingelser for alkalireaktioner i beton.

I et bilag findes en ret omfattende litteraturliste dækkende perioden indtil 1954.

2. BETONS HOLDBARHED

I de sidste årtier er der sket en rivende udvikling indenfor jernbetonen, hvor man takket være forbedring af cementkvaliteten, anvendelsen af stål med høj flydegrænse og en forbedring af arbejdsmetoderne er blevet i stand til at fremstille betonkonstruktioner med høje tilladelige spændinger. Denne udvikling har gjort det muligt at fremstille stadig mere elegante og mere dristige bygninger af jernbeton, og det seneste fremskridt, den forspændte beton, vil føre udviklingen videre i denne retning. I hele perioden har det overvejende været stabilitet og styrkeberegninger, der har været det grundlæggende ved dimensioneringen; men efterhånden som konstruktionerne bliver mere spinkle, bliver en stadig større procentdel af tværsnitsarealet fastsat udfra et holdbarhedssynspunkt, bl.a. ved fastsættelse af dæklagets tykkelse.

Disse fremskridt med hensyn til dimensionering har naturligvis haft store økonomiske virkninger, idet man har kunnet formindske dimensionerne og herved opnå store og iøjnefaldende besparelser i materialeforbruget. Imidlertid bliver det samtidig nødvendigt, at man ikke blot ensidigt tager hensyn til, at man opnår den krævede styrke, men at man også sikrer sig, at konstruktionen er således udformet og sammensat, at man opnår en passende lang levetid.

Hvis konstruktionen ikke er tilstrækkelig holdbar, vil man få forøgede driftsudgifter, altså udgifter til reparationer og vedligeholdelse i en vis periode, indtil reparationsudgifterne bliver så store, at hele eller dele af konstruktionen må fornyes.

Betonen er endnu ikke et så gammelt materiale, at man har tilstrækkeligt grundlag til at afgøre, hvor stor en procentdel af materialer og arbejdskraft, der i fremtiden skal anvendes til reparationer. Man må forvente et stigende behov for sådanne reparationsarbejder. På fig. 1 er forneden optegnet det årlige indenlandske forbrug af cement og foroven det opsummerede cementforbrug i Danmark 1885-1950. Denne del af figuren giver samtidig en oversigt over aldersfordelingen for den samlede udstøbte betonmængde i Danmark.

For en betonkonstruktions økonomi er det væsentligt, hvor lang tid der hengår fra opførelsen, til den første mere gennemgribende reparation er nødvendig. Denne "hovedreparations"-alder varierer stærkt, og der foreligger endnu ikke tilstrækkelige erfaringer til at bestemme den for de forskellige konstruktionstyper. Skønner man imidlertid for mere udsatte konstruktioner f.eks. 50 år, vil man kunne danne sig en forestilling om konsekvenserne ved i det viste diagram over det samlede cementforbrug at indtegne en anden kurve, der er forskudt 50 år langs tidsaksen. Denne kurves forlængelse til højre viser et stadigt stigende behov for materialer og arbejdskraft til reparation og eventuelt erstatning for de gamle betonkonstruktioner. Kun såfremt det lykkes at fremstille beton, der er mere holdbar, end den man støbte i betonens barndom, vil kurven have en mindre stigning end kurven for det samlede cementforbrug.

Det er således ikke blot af videnskabelig interesse at studere betonens holdbarhed, men det er et spørgsmål af stor betydning for samfundets økonomi.

Man har tidligere anvendt styrken som et mål for betonens kvalitet, idet man mente, at de øvrige gode egenskaber samtidig opnås, hvis betonen får en stor styrke. Senere års undersøgelser har vist, at det kun er i meget grove træk, der består en sammenhæng mellem styrken og andre egenskaber som f.eks. vandtæthed.

Opdagelsen og anvendelsen af luftindblandingsmidler har netop vist, at man ved at indblande luftbobler, altså fremstille en mere porøs beton, og for de federe blandinger en svagere beton, alligevel får en beton, hvis holdbarhed er langt større end før. Dette fremgår af fig. 2. Forsøg udført af PAUL KLIEGER ved Portland Cement Association i USA har vist, at selv beton med et v/c-forhold på 0.37 vil ødelægges ved frysning, hvis ikke betonen er indblandet luft (52 K 2).

Andre amerikanske undersøgelser udført af SWEET og WHITESIDE (51 W 6) har vist, at for betonblandinger, hvor v/c-forholdet varierede mellem 0.58 og 0.98, fandtes ingen sammenhæng mellem styrke og modstandsevne overfor frysninger og optøninger.

Man har ved disse og andre undersøgelser således konstateret, at holdbarhed ikke er en funktion af styrken, men en egenskab som må studeres selvstændigt ved observationer i marken og ved laboratorieundersøgelser, der imidlertid er langvarige og kostbare at gennemføre, fordi der kræves kostbare installationer.

I USA har man på et langt tidligere tidspunkt end i Europa været opmærksom på disse problemer. Så tidligt som i 1942 iværksatte Portland Cement Association en meget omfattende forsøgsrække for om muligt at fastslå, hvorledes betonens holdbarhed var afhængig af cementens kemiske sammensætning, finhed m.m. Forsøgene var anlagt i meget stor skala, og man undersøgte de anvendte materialer meget grundigt og med store bekostninger. Der anvendtes alene 350.000 \$ til forsøgenes planlægning og start. Man udførte forsøgsrækker både i laboratoriet og i marken, hvor man udsatte betonprøvelegemer af forskellige former for lagring under varierende og meget ugunstige klimatiske forhold. På fig. 3 er vist et kort over de forskellige markforsøg. Beretningerne herfra er siden blevet offentliggjort. (48 B 5) (48 L 3) (48 M 4) (48 M 11) (49 M 30) (49 V 11) (50 V 4).

På fig. 4 er vist et af markforsøgene ved Naperville ved Chicago. Disse forsøg viste som bekendt, at det var mere afgørende, om den fremstillede beton havde luft indblandet, end om der var anvendt en bestemt cementtype, og det var således slet ikke muligt at bestemme, om cementens kemiske sammensætning havde nogen indflydelse på holdbarheden.

American Concrete Institute's komite for forskning udsender årlige oversigter over igangværende forsøgsarbejder. En af disse oversigter omfattede ialt 280 forskningsobjekter vedrørende betontechnologi. Af disse vedrørte 78 betons holdbarhed, medens kun 15 havde til formål at studere betonens styrkeegenskaber.

En af de mange komiteer under American Society of Testing Materials beskæftiger sig med betonens holdbarhed. Professor SCHOLER fra Kansas State College har i ASTM's afhandlinger for 1952 i en interessant artikel givet en oversigt over de faktorer, der kan have indflydelse på betonens holdbarhed (52 S 15). Denne oversigts hovedgrupper er vist på fig. 5a og omfatter:

- 1) Den hærtnede betons fysiske egenskaber
- 2) Råmaterialernes egenskaber
- 3) Betonarbejdets udførelse
- 4) Bygværkets milieu, d.v.s. klimatiske og kemiske påvirkninger fra omgivelserne.
- 5) Bygværkets mekaniske påvirkninger fra belastning m.v.

En mere detaljeret oversigt er vist på fig. 5b.

Det er naturligvis ikke alle de angivne faktorer, der er lige betydningsfulde, men oversigten illustrerer, hvor vigtigt det er at være opmærksom på den mangfoldighed af faktorer, der påvirker betons modstandsevne overfor

forvitring. Hertil kommer at et bygværk, der beskadiges af een form for ødelæggelse ofte herved bliver svækket i et sådant omfang, at andre ødelæggelsesformer kan komme til udfoldelse, hvorved "sygdomsbilledet" kan blive så stærkt kompliceret, at det kan være overordentligt vanskeligt at stille den rigtige "diagnose".

Som omtalt kort ovenfor har det vist sig, at luftindblandet beton i mange henseender har meget større modstandsevne overfor forskellige nedbrydende faktorer, og den stærkt forøgede anvendelse af luftindblandingsmidler her i landet i de senere år vil bidrage til forlængelse af vore bygværkers levetid. Den praktiske fremgangsmåde ved proportionering og fremstilling af luftindblandet beton er blevet beskrevet i Dansk Ingeniørforenings publikation "Foreløbige retningslinier for fremstilling af luftindblandet beton" (54 - 13), der er udarbejdet af et udvalg på foranledning af Arbejdsgruppen for Beton og Jernbeton.

Luftindblandingen kan imidlertid kun beskytte cementpastaen mod frostødelæggelse, og har kun ringe eller ingen forbedrende indflydelse på porøse stens evne til at modstå frysninger.

Forsøg i USA har ligeledes vist, at luftindblanding kun i ringe omfang kan forhindre ødelæggelse af beton som følge af reaktioner mellem betonens alkaliindhold og visse bestanddele af gruset.

Undersøgelser udført i Danmark siden 1951 har vist, at denne form for ødelæggelse har været stærkt medvirkende til hurtig nedbrydning af visse danske bygværker, fig. 6. I det følgende gives derfor en nærmere beskrivelse af disse reaktioner baseret på udenlandske erfaringer og forsøg som en indledning til den serie af rapporter, der vil blive udsendt af det danske udvalg vedrørende alkalireaktioner i beton.

3. HISTORISK OVERSIGT OVER ALKALIREAKTIONER

3.1 Thomas Stanton.

De første iagttagelser af beskadigede bygværker, hvor det lykkedes at fastslå, at årsagen var reaktioner mellem alkalier og tilslagsmaterialet, er gjort i Californien, hvor THOMAS STANTON i 1940 offentliggjorde en artikel (40 S 1), der gav signalot til et omfattende forskningsarbejde. Det er karakteristisk, at de første iagttagelser blev gjort i Californien på steder, hvor man ikke kunne forklare beskadigelserne med frost og tø.

Stanton havde observeret, at en lang række bygværker udviste typiske netrevnedannelser som vist på fig. 7 af Ash Creek Bridge og fig. 8, Santa Barbara Breakwater.

Lignende ødelæggelser var iagttaget mange år tidligere ved King City Bridge, der blev opført 1919-1920 over Salinas River i Californien. Efter tre års forløb viste der sig tydelige revnedannelser i visse partier af broen, hvor man til støbning havde anvendt betonsand fra flodbunden i nærheden. Broens tilstand blev undersøgt af specialister fra en lang række forskningslaboratorier i USA (42 S 2), og der blev givet udtryk for et tilsvarende antal divergerende meninger om årsagen til ødelæggelsen, bl.a.

- 1) Sandets egenskaber
- 2) Manglende volumenbestandighed af cementen
- 3) Overdreven vandtilsætning ved støbningen
- 4) Kraftige temperaturvariationer
- 5) Utilstrækkelig vådlagring
- 6) Forkert betonsammensætning
- 7) Afvigende temperaturudvidelseskoefficient for betonens bestanddele (herunder armeringsjernet)
- 8) Elektrolyse
- 9) Overbelastning eller underdimensionering
- 10) Korrosion af armeringsjern, ankre, jernrør m.v.

Alle disse hypoteser var rent spekulative, og først senere blev man klar over den egentlige årsagssammenhæng. En betonvejbælgning udført i 1936-37 i Salinas floddalen udviste revnedannelser i visse partier efter $1\frac{1}{2}$ års forløb og så kraftige udvidelser, at belægningen knustes ved ekspansionsfugerne og flere af pladerne revnede på langs. En nærmere undersøgelse viste, at det anvendte sand stammede fra to forskellige lokaliteter, Coyote og Oro Fino, og at det kun var skader i de partier af betonen, hvor der var anvendt sand fra Oro Fino.

Man iværksatte derefter en større laboratorieundersøgelse, hvor man støbte et stort antal mørtel- og betonprismer med henholdsvis Coyote og Oro Fino sand og med de øvrige materialer, der var anvendt til betonvejen. Den anvendte cement havde et højt indhold af alkalier (1.14 %), og man udsatte prøvelegemerne for stærkt varierende lagringsbetingelser m.h.t. temperatur og fugtighed uden at kunne reproducere de ekspansioner og ødelæggelser, man havde iagttaget på betonvejen selv ved fortsættelse af behandlingen op til et år. Ved et tilfælde opdagede Stanton, at et prøvelegeme, der havde stået urørt i en forseglet beholder i et år, havde fået typisk netrevnedannelse og udfældning af et hvidt salt omkring fugtige plotter på prøvelegemerne.

Man fandt, at udtørring af prismerne forhindrede ekspansionerne, medens en lagring af prismerne i vand medførte en udludning af alkalierne,

hvorved reaktionerne gik i stå. Lagring af prismerne i fugtighedsnættet luft over vand i forseglede beholdere har senere dannet grundlaget for alle laboratoriemålinger af ekspansioner i små prøvelegemer til studium af alkalireaktioner.

Ved denne lagringsmetode lykkedes det at få kraftige ekspansioner i løbet af kort tid, når man anvendte varierende blandingsforhold mellem Oro Fino sand og inaktivt sand i forbindelse med højalkaliments, medens Coyote sandet ikke viste ekspansioner.

Det var således lykkedes at opnå resultater ved laboratorieforsøgene, der stemte overens med iagttagelserne på betonvejen, og man havde herved fået fastslået, at Oro Fino sandet i hvert fald havde en del af ansvaret for ødelæggelserne.

En petrografisk analyse af sandet viste, at det overvejende bestod af feldspat og kvarts med mindre mængder af andre mineraler. I sandet fandtes ca. 10 % skifer og opalholdig flint, og det var fortrinsvis disse bestanddele man havde mistanke til, men i andre bygværker i samme område havde man erfaring for, at Oro Fino sandet havde været anvendt med udmærket resultat. Da Stanton havde mistanke om, at cementens alkaliindhold spillede en rolle, blev der udført forsøg med Oro Fino sand og en cement med et alkaliindhold på 0.45 %, og det viste sig da, at man i dette tilfælde kun fik ganske ringe eller ingen ekspansion.

Som det fremgår af fig. 9, var der voksende ekspansion med voksende alkaliindhold, når dette var over en vis værdi.

På fig. 10 er vist ekspansionernes vækst med tiden for mørtelprismer støbt med en cement med et alkaliindhold på 1.14 % ækvivalent natriumilte og varierende mængder af et reaktivt mineral fra Californien, der efter Stanton's beskrivelse nærmest kan karakteriseres som dolomitisk kalk-opal-flint. Det er oplyst, at blot 2 % af dette mineral forårsager efter fire måneders lagring en ekspansion på 0.1 %, hvilket anses for at være ensbetydende med betydelige ødelæggelser i et betonbygværk.

Det ses af figuren, at det ugunstigste indhold er 20 % af dette materiale. Når gruset indeholder mere end 40 % af det reaktive materiale, sker der ingen ekspansioner.

På fig. 11 er vist resultaterne af en forsøgsserie, refereret af BLANKS (42 S 7), hvor sandet indeholdt 5 % dolomitisk kalk-opal-flint med de på abscissen angivne kornstørrelser. Det ses, at i dette tilfælde har fraktionen 0.2-0.6 mm vist sig mest reaktiv. Det er vigtigt at bemærke, at når det reaktive materiale er tilstrækkelig fint, sker der ingen reaktion.

Denne erkendelse har senere dannet grundlaget for modvirkning af alkali-reaktioner i beton ved tilsætning af kemisk aktive finmalede stoffer, fortrinsvis med SiO_2 -indhold.

Det er således Stanton's store indsats at fastslå

- 1) at de konstaterede ødelæggelser kunne henføres til visse kiselholdige bestanddele i sandet i forbindelse med et højt alkaliindhold i cementen,
- 2) udarbejdelsen af en metodik, som gør det muligt i laboratoriet at reproducere de ekspansioner og revnedannelser, man har iagttaget i de beskadigede bygværker,
- 3) en kritisk grænse for cementens indhold af alkalier - beregnet som ækvivalent natriumilte, der for reaktive sandsorter i Californien kunne bestemmes til 0.6 % af cementens vægt. Kun ved cement med større alkaliindhold skete der skadelige ekspansioner,
- 4) at ekspansionen voksede med voksende mængder af reaktivt materiale i gruset indtil en vis værdi, for derefter at aftage.

Det ugunstigste forhold mellem reaktivt og inaktivt materiale i gruset kaldte Stanton for det pessimale forhold (i modsætning til det optimale d.v.s. gunstigste).

Efter offentliggørelsen af Stanton's resultater (40 S 7) (42 S 1)(42 S 2), blev forskningsarbejdet optaget af cementfabrikkerne, universitetslaboratorierne og de store organisationer, der beskæftiger sig med dæmningsbyggeri, d.v.s. Bureau of Reclamation og US Army Corps of Engineers, og de følgende år fandt man i tidsskriftsartikler snart det ene og snart det andet tilfælde beskrevet, hvor et stort bygværk havde udvist fremskyndet forvitring, (41 K 5) (41 B 3) (41 H 1) (41 T 5) (45 B 7). Ved petrografiske og kemiske undersøgelser fandtes, at de anvendte tilslagsmaterialer indeholdt reaktive partikler, og at den anvendte cement havde haft et alkaliindhold over de tidligere nævnte 0.6 %.

Man var imidlertid ikke i stand til endnu at trænge ind i, hvad der egentlig foregik under denne mærkelige proces, før W.C. HANSEN, der arbejdede for Portland Cement Association, i 1944 fremsatte sin teori om, at ødelæggelsen skyldtes dannelsen af alkalikiselgel, der virkede som osmotiske hinder, således at vand kunne trænge ind i dette reaktionsprodukt, men ikke ud igen (44 H 2). Man fik herved nogle celler, der var i stand til at udøve et ret stort tryk i betonmassen, og selv om W.C. Hansen's forklaring ikke kan opretholdes i fuld udstrækning, var det dog et vigtigt skridt på vejen til en dybere forståelse af fænomenerne.

3.2 Bureau of Reclamation

I 1947 blev der offentliggjort en artikel af MIELLENZ et al. (47 M 4), Bureau of Reclamation, der ved laboratorieforsøg havde vist, at natriumvandglas, altså natrium-silica-gel ved opugning af vand kunne udøve et tryk på 40 kg/cm^2 i løbet af nogle få dage ved en forsøgsopstilling som vist på fig. 12.

I samme artikel gives en detaljeret beskrivelse af, hvorledes man ved petrografisk undersøgelse af beton kan fastslå, om den er angrebet af alkalireaktioner. Undersøgelsen omfatter dels friske brudstykker af den angrebne beton, dels fremstilling af tyndsnit, i hvilke man ved hjælp af et petrografisk mikroskop kan studere mikrorevner i cementpastaen og udfældning af sekundært materiale.

Ved hjælp af lysbrydningsindeks og andre fysiske egenskaber kan man identificere såvel de anvendte tilslagsmaterialer som udfældet materiale eventuelt i forbindelse med supplerende mikrokemiske analyser. Mange af de iagttagne fænomener ved en sådan undersøgelse kan imidlertid henføres til andre nedbrydningsårsager end alkalireaktioner, og metoden kræver derfor stor erfaring og forsigtighed. Der henvises til G.M. IDORN's rapport: "Disintegration of Field Concrete" (56 I 1), der er udsendt i foråret 1956 i udvalgets publikationsserie.

Mielenz et al. offentliggjorde samtidig en liste over bjergarter og mineraler, som kan være ødelæggende reaktive, når de anvendes sammen med højalkalificement. Denne fortegnelse er her gengivet som fig. 13 i den originale form for at undgå eventuelle urigtige oversættelser. Blandt de reaktive mineraler har særlig opal og kalcedon betydning for danske forhold, hvor vore flintesten indeholder varierende mængder af disse bestanddele, ligesom vi også her i landet i vore støbematerialer kan finde kiselimprægneret kalksten (siliceous limestone).

På fig. 14 er vist ekspansionskurver for mørtelprismer med højalkalificement og kiselholdigt støbemateriale. Ved bedømmelse af disse kurver må erindres, at ekspansioner større end 0.1 % anses for at være ødelæggende for et bygværk. Det ses, at opal i løbet af 2 måneder kan give ekspansioner på det tidobbelte af denne værdi.

Mielenz og hans medarbejdere på Bureau of Reclamation beskrev i 1947 en metode, hvorved man væsentligt hurtigere end før kunne fastslå, om et grusmateriale under visse omstændigheder kunne give anledning til ødelæggende alkalireaktioner eller ej (47 M 5). Denne metode kaldes populært den hurtige kemiske metode, selv om undersøgelsen tager nogle dage. Men

metoden er hurtig i forhold til til en undersøgelse af et materiales reaktivitet ved støbning af mørtelprismer, hvor man ofte må vente op til et år, før man har et endeligt resultat.

En nærmere beskrivelse af denne metode vil blive givet i et følgende afsnit om forsøgsteknik.

3.3 Corps of Engineers

Corps of Engineers i USA, der udfører projekter til bygning af dæmninger og kraftværker i midt- og øststaterne, har ligeledes konstateret, at alkalireaktioner har været årsag til store ødelæggelser. Der foreligger bl.a. en detailleret beskrivelse af omhyggelige petrografiske undersøgelser, der viser, at kalcedon, der er den overvejende bestanddel af danske flinttyper, har været årsag til kraftige revnedannelser i et sluseanlæg i Alabama (51 M 13).

Man havde tidligere ved laboratorieundersøgelser udført bl.a. af Mielenz et al. påvist, at kalcedon var potentielt reaktivt d.v.s., at ved visse ugunstige blandingsforhold mellem reaktivt og inaktivt materiale og ved et højt alkaliindhold i cementen, kunne man få ekspansioner, men ovennævnte tilfælde var det første eksempel på et bygværk, hvor det kunne bevises, at kalcedon havde bevirket ekspansionerne, idet man ikke kunne påvise andre reaktive materialer i tilslagsmaterialet.

I artiklen findes meget instruktive billeder af, hvorledes alkalikiselgel i den angrebne beton opsugede vand og bredte sig på snitfladerne i en borekerne, der blev lagret over en vandoverflade i ca. to måneder.

Ved dette laboratorium er det særligt KATHERINE og BRYANT MATHER, der har studeret alkalireaktioner. Deres mangeårige erfaring fra geologisk og petrografisk arbejde har resulteret i værdifulde beskrivelser af metoden ved fremstilling af tyndsnit og identifikation af mineraler og sekundært materiale i beton (48 M 45) (50 M 18) (52 M 7).

3.4 Bureau of Public Roads

I 1952 offentliggjorde D.O. WOOLF en artikel (52 W 5), hvis betydning vist endnu ikke er vurderet efter fortjeneste. Ved forsøgene, der udførtes på det amerikanske vejlaboratorium (Bureau of Public Roads) anvendtes opal i fraktionen 0.2 mm til 0.4 mm, og ved forsøgsrækken, der omfattede flere hundrede prismar og stærkt varierende alkaliindhold, lykkedes det at fastslå, at de maksimale ekspansioner efter 18 måneders forløb kunne udtrykkes i afhængighed af forholdet imellem opalmængden og alkalimængden i cementen,

og at den største ekspansion optræder, når forholdet mellem mængden af alkali og reaktive materialer er større end en vis værdi. Heraf følger:

- 1) at ekspansionerne kan forhindres ved at forøge mængden af reaktivt materiale,
- 2) at lavalkali cement kan give ekspansioner ved små mængder af reaktive materialer. Ved disse forsøg synes grænsen på 0,6% alkalier ikke at kunne anvendes.

Disse forsøg har haft meget stor betydning for arbejdet i det danske udvalg og har dannet grundlaget for et meget betydningsfuldt teoretisk arbejde, der er offentliggjort af POWERS og STEINOUR i 1955 vedrørende hypoteser for alkalireaktioner i beton. I den planlagte rapportserie vil der blive udføreligt redegjort for disse hypoteser, der synes at kunne forklare så godt som alle iagttagne fænomener ved alkalireaktioner.

På fig. 16 er indtegnet nogle af de områder, hvor man med sikkerhed har konstateret alkalireaktioner i USA, og som det fremgår af figuren, er der ikke tale om, at disse reaktioner er begrænset til et enkelt geografisk område, men man har efterhånden konstateret ødelæggelserne i store dele af landet.

3.5 Undersøgelser udenfor USA

De første amerikanske undersøgelser vakte naturligvis opsigt i den del af verden, der under den sidste verdenskrig havde adgang til den amerikanske betonlitteratur, og bl.a. blev der iværksat meget omfattende laboratorieforsøg i Australien offentliggjort i en lang række artikler og rapporter (45 A 4) (47 A 8) (47 A 13) (47 V 4) (47 V 5) (48 V 4) (50 A 13) (50 G 12) (50 V 5) (50 V 6) (51 D 4) (51 V 3) (51 V 4) (51 V 5) (52 G 5) (43 A 6).

På Building Research Station i England har F.E. Jones udført en del laboratorieundersøgelser dels med henblik på flintforekomsterne i Syd-England, dels i forbindelse med undersøgelser af støbematerialer i dominions og kolonier. Resultaterne foreligger i foreløbig tre rapporter (52 J 2) (52 J 3) (52 J 4), hvori det bl.a. påvises, at flintsand med cement af middelalkaliindhold (ca. 0,7 ækvivalent Na_2O) ikke har givet ekspansion, når det anvendes uden fortynding med inaktivt materiale, skønt der ved forsøgene var andre symptomer på reaktivitet, såsom udfældning af gel m.v.

I Japan er udført nogle enkelte undersøgelser af alkalireaktioner i beton (51 K 11) (53 K 1).

Da alkalireaktioner med sikkerhed var konstateret her i landet, foretog Statens Byggeforskningsinstitut i 1952 en rundspørge til medlemmerne af de

internationale materialprøvningsforbund (RILEM) for bl.a. at få en oversigt over alkalireaktionernes udbredelse, uden at man dog herved fik nye oplysninger. Det er muligt, at disse reaktioner ikke finder sted i andre dele af Europa, men det er ganske naturligt, at i de lande, hvor f.eks. frost og tø spiller en rolle, kan det vare nogen tid, før man undersøger bygværkerne ud fra disse nyere synspunkter.

4. PRØVEMETODER VED UNDERSØGELSE AF ALKALIREAKTIONER

Igennem den historiske oversigt har læseren forhåbentlig fået et indtryk af årsagen til alkalireaktioner, idet der dog i et senere afsnit vil blive forsøgt at give en mere samlet og logisk fremstilling. Her skal forsøges givet en kort beskrivelse af de prøvemethoder, der stod til det danske udvalgs rådighed ved arbejdets påbegyndelse i 1954, idet hovedvægten lægges på de prøvemethoder, der har vist sig at være af blivende værdi, og som efterhånden er blevet anerkendt af det amerikanske materialprøvningsforbund (ASTM).

4.1 Ekspansion af mørtelprismer

Undersøgelsen af et grusmateriales mulighed for at reagere med alkalier kan foretages ved at måle ekspansionen af mørtelprismer, der lagres ved $100^{\circ}\text{F} \pm 3^{\circ}\text{F}$ ($37.8^{\circ}\text{C} \pm 1.7^{\circ}\text{C}$) og mindst 90 % relativ fugtighed. Prismene er 10x1x1 inches og fremstilles i blandingsforholdet 1:2.25 med et vandcementtal på 0.50. Gruset skal have en bestemt kornkurve som nærmere beskrevet i (52-21). Der udstøbes tre serier af prismen for hver cement-grus kombination. Som kontrol anvendes cement med meget lavt alkaliindhold - mindre end 0.2 % til sammenligning med en cement med et alkaliindhold over 1 % - i begge tilfælde beregnet som natriumilteækvivalent.

Efter to døgn fugtig lagring ved normal temperatur måles længden af prismene med en nøjagtighed af 1/1000 inch, hvorefter prøvelegemerne overføres til en tæt beholder, hvor de fastholdes over et vandbad uden at berøre hinanden.

Som omtalt ovenfor lagres prøvelegemerne ved en temperatur på ca. 38°C , og det er derfor vigtigt, at prismene er kommet i temperaturligevægt, før målingerne foretages ved 23°C . Beholderen skal derfor lagres ved denne temperatur mindst 16 timer, før aflæsningerne foretages.

Målingerne foretages, når prismene er 7 og 28 døgn gamle og derefter hvert 28. døgn. Efter et års lagring kan muligheden for alkalireaktioner bedømmes således:

Ekspansion i %	Bedømmelse
0.04 eller mindre	ikke reaktivt
0.04 til 0.10	tvivlsomt
0.10 eller mere	ødelæggende reaktivt

Metoden er som tidligere nævnt oprindeligt udviklet af Stanton og kan benyttes til mange forskellige formål.

4.11 Duplikering af blandingsforhold

Først og fremmest kan man udføre prøvestøbninger før større bygværker påbegyndes med de materialer, man påtænker at anvende. Ved sandet anvendes det med den naturligt forekommende kornsammensætning og med den cement, der tænkes anvendt. For at sikre sig, at variationer i sandets indhold af reaktivt materiale eller cementens alkaliindhold ikke skal bevirke, at blandingen bliver ødelæggende reaktiv, kan man ved disse forsøg enten fortynde sandet med inaktivt materiale eller variere cementens alkaliindhold ved blanding med cementser med højere eller lavere alkaliindhold.

Ved undersøgelse af stenmaterialet er man nødt til at nedknuse dette og sammensætte det efter en foreskrevet kornkurve. Ved nedknusningen har man imidlertid forøget materialets overflade meget stærkt, og det er derfor nødvendigt at fremstille en hel serie af blandingsforhold mellem det nedknuste materiale og inaktivt materiale som f.eks. rent kvartssand.

Det er meget vigtigt, at det fineste materiale fra nedknusningen omhyggeligt frasorteres ved udvaskning eller lignende, da dette materiale, som allerede påvist af Stanton, kan virke som et puzzolan, der modvirker ekspansionen.

Hvis man ikke finder ekspansionen, er sagen ganske ligetil, idet man herved har sikret sig nogenlunde mod ekspansion, når bygværket støbes, under forudsætning af at man har undersøgt et tilstrækkeligt antal kombinationer af reaktivt materiale og alkaliindhold.

Finder man derimod ekspansioner ved en enkelt eller nogle få kombinationer med nedknust materiale, kan man kun udlede, at stenmaterialet indeholder potentielt reaktivt materiale, men om man i praksis træffer disse ugunstige forhold, kan ikke forudsiges med sikkerhed på grund af den ved nedknusningen ændrede overflade, og det kan være nødvendigt at udføre supplerende forsøg med betonprismer af sådanne dimensioner, at nedknusningen undgås.

Til trods for ovennævnte vanskeligheder med fortolkning af resultaterne, er mørtelprismemetoden den hidtil mest pålidelige metode, og det hævdes af

Stanton og mange andre forskere i USA, at man finder usædvanlig god overensstemmelse mellem mørtelprismemetoden og observationer på bygværker (48 S 38) (48 T 15), idet man naturligvis kan anvende den samme teknik til at efterligne blandingsforholdene i de bygværker, som viser tegn på ødelæggelse.

I serie I af den planlagte publikationsrække fra det danske udvalg vil der blive nærmere redegjort for de resultater, der er opnået med mørtelprismer, til hvilke man har anvendt naturligt forekommende grusmaterialer fra danske lokaliteter.

4.12 Forsøg med standardmaterialer

For at opnå et dyberegående kendskab til processen og få klarlagt, hvorledes de enkelte mineraler reagerer i forskellige blandingsforhold mellem reaktivt og inaktivt materiale, anvendes ligeledes mørtelprismer, der støbes og lagres som ovenfor beskrevet.

Man har ligeledes mulighed for at bestemme indflydelsen af cementens alkaliindhold enten ved benyttelse af mange forskellige cementfabrikater eller sammenblanding af en høj- og en lavalkalicement på en sådan måde, at man får et antal mellemliggende værdier for alkaliindholdet. Endvidere kan man bestemme kornstørrelsens indflydelse, således som f.eks. Blanks har gjort det i diskussionen af Stantons resultater (42 S 2).

Endelig har man mulighed for at studere virkningen af tilsætning af kemikalier. Således har BLANKS og MEISSNER (46 B 4) påvist, at tilsætning af 2 % calciumklorid til en lavalkalicement (0.18 % ækvivalent Na_2O) giver meget kraftige ekspansioner med et reaktivt materiale, der ellers kun reagerer med højalkalicement (fig. 17).

Dette er en af grundene til, at man i den danske vejledning i "Betonstøbning om vinteren" (53 N 1) advarer mod anvendelsen af dette kemikalium som accelerator, da iværksatte langtidsforsøg syntes at indicere reduceret holdbarhed, selv om man på daværende tidspunkt ikke turde give denne begrundelse.

VIVIAN har ved lignende fremgangsmåde undersøgt virkningen af tilsætning af natriumhydroxyd.

Ved alle ovennævnte forsøg er anvendt et eller andet "standardiseret" reaktivt mineral, men da man har vanskelighed ved at forsyne alle laboratorier med tilstrækkelig ensartede materialer, er man efterhånden gået over til at anvende et syntetisk materiale ved vurdering af puzzolaners og andre tilsætningsmidlers effektivitet.

4.13 Vurdering af tilsætningsmidler

Som allerede påvist af Stanton kan finmalet reaktivt materiale forhindre alkalireaktioner (42 S 7), og der er siden udført et stort forskningsarbejde i USA også på dette område (43 B 9) (45 B 7) (47 H 17) (49 B 24) (49 G 27) (50 L 21) (50 M 28) (50 S 12).

For at få et så ensartet reaktivt materiale som muligt anvendes Pyrexglas, der er stærkt reaktivt med en bestemt kornstørrelsesfordeling ved støbning af mørtelprismer.

For det danske udvalg er udført en undersøgelse af et større antal puzzolaner, og da resultaterne forventes offentliggjort i serie L omtrent samtidig med nærværende rapport, henvises der til denne vedrørende den detaljerede beskrivelse af forsøgsteknikken og resultaternes vurdering.

4.2 Hurtig kemisk metode

Som tidligere nævnt har Hielenz et al. ved Bureau of Reclamation udarbejdet en kemisk analysemetode til bestemmelse af de forskellige grusarters evne til at reagere med alkalier. Dannelsen af natriumsilikat er betinget af, at gruset indeholder kiseltsyreanhydrid SiO_2 , der kan opløses af en natriumhydroxyd opløsning. Det har imidlertid vist sig, at den opløselige mængde af siliciumilte alene ikke er noget mål for reaktionsmulighederne, idet man også må bestemme, hvor stærkt den anvendte natriumhydroxydopløsnings alkalitet er blevet formindsket. Den anvendte prøvemethode er nærmere beskrevet i (47 M 5).

Det grusmateriale, man vil undersøge, findes, så det kan passere en 0.3 mm sigte, og anbringes i beholdere af rustfrit stål, hvor det behandles med natriumhydroxyd, der påvirker materialet i 24 timer ved en konstant temperatur på 80°C . Efter filtrering af opløsningen bestemmer man henholdsvis reduktionen i alkalitet og indholdet af opløselig silicium. Ved at afsætte resultaterne i et diagram som vist i fig. 18 kan man få et skøn over muligheden for alkalireaktion, idet materialer, der giver værdier til højre for den indtegnede linie, i et eller andet blandingsforhold mellem reaktivt og inaktivt vil give en ekspansion over 0.1 % i løbet af et år med cementer med højt alkaliindhold, når de prøves ved udstøbning af mørtelprismer, der lagres ved en konstant temperatur som nærmere beskrevet ovenfor.

Metoden kan således anvendes til at bedømme, hvorvidt et materiale er potentielt reaktivt, men den kan ikke benyttes til at forudsige, om man vil få skadelige alkalireaktioner i et bygværk, hvor man anvender det undersøgte grus.

Metoden er således velanvendelig, hvor man har mulighed for at undgå anvendelsen af potentielt reaktivt materiale, men hvor denne gunstige situation ikke foreligger, er metodens værdi begrænset.

4.3 Petrografisk identifikation af reaktivt materiale

Det omfattende laboratoriarbejde i USA med støbning af mørtelprismer med mange forskellige mineraler uanset oprindelse og sammensætning har medført, at man idag har en temmelig fuldstændig fortegnelse over potentielt reaktive mineraler, som det er forholdsvis let at få identificeret på et veludstyret petrografisk laboratorium (48 M 45) (50 M 18). Metoden har den samme svaghed som den hurtige kemiske metode, at hvor man - som her i landet - ikke uden store økonomiske ofre kan undgå anvendelsen af potentielt reaktive materialer, er henvist til at udføre mørtelprismeforsøg for at bestemme de pessimale forhold m.v. Metoden er derimod meget nyttig ved undersøgelse af betonborekerner fra bygværker, hvor man har mistanke om alkalireaktioner.

4.4 Andre metoder

Der er naturligvis i tidens løb foreslået mange forskellige metoder til at bedømme et grusmateriales reaktivitet. Stanton har således foreslået en metode (42 S 2), hvor man nedknuser det materiale, man ønsker undersøgt, hvorefter man ved en blanding af tunge vædsker kan få materiale med lavere vægtfylde end en bestemt værdi til at svømme ovenpå. For opal kan man f. eks. benytte sortering ved en vægtfylde på ca. 2.36 g/cm^3 , hvorefter man med petrografiske metoder kan bestemme opalmængden i den lette del af materialet.

Vivian et al. (45 A 4) har beskrevet en metode, hvor et prøvelegeme støbes af to lag mørtel med samme cementtype, men hvor det ene grusmateriale er inaktivt og det andet er det, som man ønsker undersøgt. Efter lagring over vand en måned vil reaktiviteten vise sig, dels i form af våde pletter, evt. geldråber på prøvelegemet, dels ved den af ekspansionen forårsagede deformation af prøvelegemet.

WOOLF har beskrevet en metode (48 W 10), hvor man udstøber den blanding, man vil undersøge i et syltetøjsglas, hvor glasvæggen er beskyttet med maling. I løbet af en måned skulle man kunne bedømme reaktiviteten på grundlag af den forløbne tid, inden glasset revner, og revnedannelsens karakter.

Stanton har beskrevet en metode (43 S 1), hvor man anbringer brudstykker af det materiale, man vil undersøge, i en kage af ren cementpasta, der efter hårdning anbringes i en natriumhydroxyd opløsning, hvorefter man i løbet af

nogle få dage vil finde udblomstring af hvid gel på prøvens overside, hvis materialet er reaktivt. Metoden er blevet nærmere undersøgt af RUNNER (44 R 5), der konkluderer, at metoden kun er anvendelig til identifikation af opal.

Ingen af sidstnævnte metoder har fået større praktisk betydning, og til dato må mørtelprismemetoden anses for at være den mest velegnede, selv om den er tidskrævende og kun kan udføres i større og veludstyrede laboratorier med mulighed for lagring af et stort antal prøvelegemer under velkontrollerede lagringsbetingelser med hensyn til både temperatur og relativ fugtighed.

I serie I, K og L vil de i Danmark opnåede resultater med denne metode blive publiceret efterhånden som materialet er blevet færdigbearbejdet.

En "metode", som er overordentlig værdifuld, når den kan benyttes, er iøvrigt undersøgelse af ældre bygværker, som er opført med de støbematerialer, som man agter at anvende.

5. ALMENT OM ALKALIREAKTIONER I BETON

Den forudgående fremstilling kan have virket noget springende, idet det er forsøgt at opridse den historiske baggrund for vor nuværende viden. Ved de beskrevne eksempler og de viste figurer er det dog måske samtidig lykkedes at give en mere tilgængelig fremstilling af de komplicerede forhold, der gør det vanskeligt men til gengæld interessant at udføre undersøgelser på dette felt.

I det følgende skal det forsøges at give en mere samlet fremstilling på grundlag af den udenlandske litteratur suppleret med oplysninger, der er indhentet ved en studierejse til USA 1950-51 og senere korrespondance med amerikanske betonteknologer.

5.1 Mekanismen i alkalireaktioner

Når cement og vand under betonstøbningen blandes, opløses cementens alkali-er i vandet. Herved dannes alkalihydroxyder, hvis koncentration forøges, efterhånden som cementpastaen forbruger vand ved hydratiseringen. Hvis tilslagsmaterialet indeholder kisel, SiO_2 , i en form, der er reaktionsdygtig ved den foreliggende temperatur, vil grusmaterialet i tidens løb blive angrebet af alkalihydroxyderne, hvorved der dannes alkalikiselgel. Såfremt denne alkalikiselgel optager calciumioner, får man et reaktionsprodukt, som i og for sig er uskadeligt og i visse tilfælde måske snarest er en fordel.

Katherine Mather og hendes medarbejdere ved den amerikanske hærs ingeniørkorps har ved undersøgelse af betonprøvelegemer, der var udlagt i naturen og udsat for et stort antal frysninger og optøninger, konstateret, at ved støbning med flintmateriale var der opnået en reaktion imellem cementpastaen og stenmaterialet, som gjorde, at betonen havde en væsentlig større styrke end ved anvendelse af materialer, der ikke reagerede med cementpastaen (53 K 2). Man har således under visse gunstige omstændigheder mulighed for at få et bedre slutprodukt som følge af den fysisk-kemiske forbindelse mellem cementpastaen og tilslagsmaterialet, end hvor man kun har inaktive materialer. Det er dog naturligvis først og fremmest den skadelige form for reaktionerne, der er studeret i USA, og det er denne, der nærmere skal behandles i det følgende.

5.2 Skadelige alkalireaktioner

De skadelige former for alkalikiselgel har ikke optaget kalciumilte i tilstrækkelig mængde, og reaktionsproduktet hører til den ubegrænset svællende type af geler, der ved vandopsugning kan forårsage overordentlig store trykspændinger i betonen ved gelernes udvidelse. Dannelsen af alkalikiselgel kan give anledning til en ekspansion af betonen, og betonbygverkernes overflade vil blive gennemsat af revner i et mønster, som vi i Danmark kalder netrevner, medens amerikanerne kalder det "map-cracking" (fig. 6).

Den angrebne beton får iøvrigt et ret usundt udseende, ofte vil der være udfældet gullige eller hvidlige stoffer i revnerne, betonen vil sine steder være fugtig, og en nærmere undersøgelse af betonprøver gør det muligt at finde de lokaliteter, hvor reaktionerne foregår med omdannelseszoner i berøringsfladen mellem cementpastaen og det reaktive grusmateriale. Desuden kan man iagttage mikrorevner i cementpastaen omkring stenpartikler og udfældning af sekundære geler i revnerne.

Disse processer er overordentlig komplicerede, og deres omfang og forløb er betinget af mange uafhængige variable, som senere beskrives.

5.3 Reaktionsbetingelser for alkalireaktioner

Følgende betingelser er nødvendige men ikke tilstrækkelige:

- 1) Betonens alkaliindhold må være over en vis grænse.
- 2) Tilslagsmaterialet må indeholde gruspartikler, der er i stand til at reagere med de dannede alkalihydroxyder i cementpastaen.
- 3) Betonen eller mørtlen må have adgang til at opsuge vand, i modsat fald vil der ikke opstå svulningstryk i de dannede alkalikiselgeler.

5.31 Betons alkaliindhold

Alkaliforbindelserne kan hidrøre fra

- 1) cementen
- 2) støbematerialerne
- 3) støbevandet og
- 4) ved tilførsel ude fra efter betonens støbning.

ad 1. Alkalierne i cementen hidrerer fra leret, som benyttes til råmateriale for cementproduktionen. Lerets alkaliindhold og fremstillingsprocessen under cementens produktion har indflydelse på cementernes alkaliindhold. Indholdet kan variere mellem 0.1 til 1.5 % beregnet som ækvivalent natriumilte, idet man almindeligvis omregner indholdet af kaliumilte ved følgende formel:

$$\text{ækvivalent Na}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{ K}_2\text{O}.$$

I USA mener man almindeligvis, at et alkaliindhold under 0.6 % ikke vil give anledning til skadelige alkalireaktioner, men senere undersøgelser bl. a. i Australien sandsynliggør, at alkalierne, når de er bragt i opløsning i betonen, kan vandre i denne og efterhånden koncentrerer om reaktionsdygtige gruspartikler. De tidligere omtalte forsøg udført af Woolf ved Bureau of Public Roads i USA (52 W 5) har vist, at man under visse omstændigheder også kan få ekspansioner med såkaldte lavalkalicer, men reaktionerne kommer på et senere tidspunkt og er af en anden art end ved anvendelse af højalkalicer.

ad 2. Tilførsel af alkali fra tilslagsmaterialet har ikke været genstand for omfattende undersøgelser, men det er meget sandsynligt, at lerindhold i grusmaterialet kan virke skadeligt, så at man herigennem kan få tilført mere alkali, end det der hidrerer fra cementen. Det er kendt, at visse bestanddele i graniten ved forvitring kan afgive alkalier.

ad 3. Alkaliindholdet i støbevand er et punkt, man er stærkt opmærksom på ved de danske undersøgelser, idet grundvandet visse steder i Danmark har et relativt højt indhold af natrium-ioner, således at støbevandet kan give betonen et indhold af ækvivalent Na_2O på over 0.6 % af cementvægten.

Endelig er der i Danmark nogen steder anvendt saltvand ved støbning af beton, og selvom saltvandets indhold af natriumklorid i første omgang ikke er ensbetydende med tilførsel af natriumilte, menes det dog, at man i cementpastaen på grund af tilstedeværelsen af calciumhydroxyd kan få dannet natriumhydroxyd og calciumklorid. Forsøg har i hvert fald vist, at man ved mørtelprismeforsøg, hvor der anvendes lavalkalicer, kan få stærkt forøgede ekspansioner, hvis der tilsættes natriumklorid. Endvidere har forsøg på F.L. Smidth & Co.'s laboratorium i København vist, at reaktive mineraler

med lavalkallicement og ferskvand giver en ekspansion på 0.01 %, med havvand en ekspansion på 0.17 %, d.v.s. langt over den kritiske grænse på 0.1 %.

Endelig som en fjerde mulighed kan nævnes en tilførsel af alkalier fra havvandet for konstruktioner i berøring med havvand, idet der her vil være mulighed for kapillær opsugning, der i forbindelse med fordampning formodentlig kan føre til en stærkt forøget koncentration af alkaliforbindelserne i betonen.

5.32 Reaktivt grusmateriale

Den anden nødvendige men ikke tilstrækkelige betingelser er, at grusmaterialet indeholder siliciumilte i en form, der er reaktionsdygtig med alkalihydroxyderne.

På fig. 13 er gengivet den tidligere omtalte amerikanske oversigt over de mineraler, der anses for reaktionsdygtige. Fortegnelsen indeholder sådanne stoffer som opal, kalcedon, tridymit og kristoballit, der alle er forskellige tilstandsformer for SiO_2 . For danske forhold har det særlig interesse, at flint består af varierende mængder af opal og kalcedon. Krystallinsk SiO_2 som for eksempel kvarts vil ikke ved normal temperatur være i stand til at reagere med alkalihydroxyder, men det vides fra fremstilling af glas, at ved stærk opvarmning vil også kvartsen kunne reagere med alkalier. Som senere omtalt spiller temperaturen en rolle for disse processer. I fortegnelsen over reaktive materialer ses også forskellige glasser, og man har her fundet, at basisk til neutrale vulkanske glassorter er i stand til at reagere. Som tidligere omtalt er visse industrielle glassorter som f.eks. pyrexglas reaktionsdygtige i så høj grad, at dette materiale anvendes som standardmateriale, når man skal undersøge, om et puzzolan kan forhindre alkalireaktioner.

Et enkelt tilfælde er blevet refereret fra Schweiz, hvor flodgrus anvendt til betonfremstilling formodentlig har givet anledning til alkalireaktioner, fordi gruset blev udvundet under en udsigtsklippe, hvor søndagsturisterne havde den uvane at smide ølflasker ud i floden.

5.33 Vand

Den tredje nødvendige betingelse er tilstedeværelsen af vand. Ved udførelse af mørtelprismeforsøg er det overordentlig vigtigt, at prøvelegemerne er lagret i fugtig luft; hvis betonen udtørres, har gelernerne ikke længere mulighed for at ekspandere under vandopsugning, og dette forhold er formodentlig forklaringen på, at konstateringen af alkalireaktioner fortrinsvis finder sted i bygværker, der til stadighed har mulighed for vandopsugning

på den ene eller den anden måde, medens man såvidt vides, endnu ikke har konstateret disse fænomener i beton, der udtørres, som f.eks. etageadskillelser m.v. i almindeligt betonbyggeri.

5.34 Ugunstigste blandingsforhold

Ovenstående tre betingelser er nødvendige men ikke tilstrækkelige til at forårsage skadelige alkalireaktioner. Ovenfor er omtalt flere eksempler på, at den maksimale ekspansion indtræffer ved et under givne omstændigheder ganske bestemt ugunstigt forhold mellem mængden af inaktivt og reaktivt materiale - det såkaldte pessimale forhold. Ved et bestemt alkaliindhold vil der derfor være et bælte på begge sider af det pessimale forhold, hvor ekspansionerne er ødelæggende reaktive. Hvis mængden af reaktivt materiale ligger tilstrækkelig langt fra det pessimale forhold, enten over eller under, vil vi ikke få ekspansioner.

Det pessimale forhold afhænger af

- 1) det reaktive materials art
- 2) det reaktive materials kornstørrelsesfordeling
- 3) det reaktive materials fysiske struktur (hårdhed, porøsitet m.v.) og
- 4) betonens alkaliindhold.

Det er derfor klart, at man ikke kan forudberegne det pessimale forhold eller snarere det område, udenfor hvilket man ikke får skadelige ekspansioner, og det er derfor nødvendigt at iværksætte store forsøgsserier dels med standardiserede reaktive materialer, dels med naturligt forekommende blandinger af forskellige typer af reaktive mineraler.

5.4 Sekundære variable

Udover de ovennævnte betydningsfulde variable findes der en række sekundære variable, som temperatur, cementmængde, vandindhold og betonens kompaktthed, der påvirker alkalireaktioner.

5.41 Temperaturen

Som alle kemiske processer vil reaktionen imellem alkalierne og de reaktive partikler blive accelererede ved en temperaturstigning. Man har i USA standardiseret en lagringstemperatur på 100°F, svarende til 38°C for de lagringsbeholdere, der benyttes ved mørtelprismeforsøgene. En yderligere acceleration ved at hæve temperaturen må frarådes, idet det dannede reaktionsprodukt - en gel - kan blive så tyndtflydende, at den ikke er i stand til at udøve noget tryk på den omliggende cementpasta. At temperaturen også spiller en rolle i

praksis er blevet iagttaget ved en stor brokonstruktion her i landet, hvor man ved hyppige målinger på konstruktionen konstaterede, at ekspansionerne ophørte i vinterhalvåret og fortsatte i sommerhalvåret.

5.42 Cementmængden

Ved mørtelprismeforsøgene er cementmængden standardiseret, idet man arbejder med et fast blandingsforhold på 1 del cement til 2 dele tilslagsstoffer. I praksis er det naturligvis sådan, at en forøgelse af cementmængden, altså fremstilling af en fed beton, betyder en større tilførsel fra cementen af alkalier pr. m^3 beton. Da en større del af vandet bindes kemisk og fysisk, når cementmængden vokser, vil mængden af fordampeligt vand formindskes, og herigennem vil man få en forøget koncentration af alkalier i det fordampelige vand.

5.43 Vandindholdet

Ved mørtelprismeforsøgene arbejdes der med et konstant vandcementtal på 0.50. I praksis vil vandcementtallet naturligvis have meget forskellige værdier, og en forøgelse af vandmængden kan betyde, at mængden af fordampeligt vand forøges, d.v.s. at alkalikoncentrationen er aftagende, medens et lavt vandindhold, hvor man eksempelvis anvender vibrering, giver en forøget alkalikoncentration.

5.44 Betonens kompakthed

Medens nogle forskere mener, at ødelæggelse af cementpastan skyldes de reaktive korns ekspansion, har man i andre laboratorier iagttaget, at de sekundære geludfældninger under vandopsugning har sprængt betonen. Såfremt gellene kan få plads til at udvide sig i hulrum og porer, vil trykket ikke blive så stort. Det har dog vist sig, at de sædvanlige luftindhold i luftindblandet beton ikke er tilstrækkelige under alle forhold til at forhindre ekspansion.

6. SLUTNING

I denne rapport er forsøgt givet en bred kortlægning af den udenlandske viden, der stod til udvalgets og dets medarbejders disposition ved udvalgets nedsættelse i sommeren 1954. På enkelte punkter er fremstillingen ganske kortfattet, det gælder identifikation af skadeårsager ved undersøgelsen af borekerner, da der i denne serie allerede foreligger en rapport af G.M. Idorn

om dette emne. Muligheden for imødegåelse af alkalireaktioner ved anvendelse af puzzolaner er ligeledes kun kort omtalt i den historiske oversigt, da en detaillere rapport om dette vil foreligge omtrent samtidig med denne oversigt. På omslagets side 4 findes en fuldstændig fortegnelse over de planlagte rapporter, hvoraf det vil fremgå, at man i serie B påtænker udsendelse af en rapport, der redegør for resultatet af undersøgelserne her i landet, der gik forud for udvalgets nedsættelse.

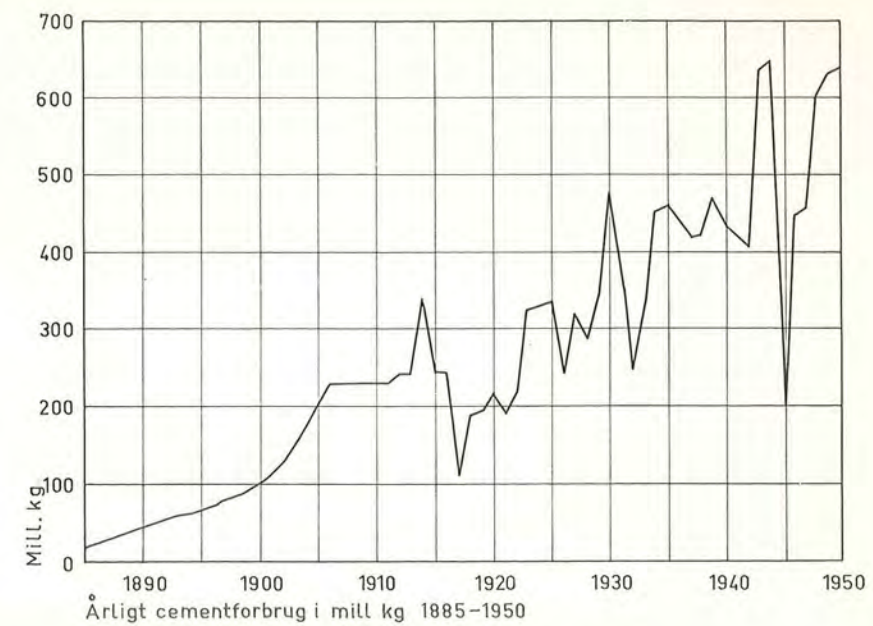


Fig.1. Det årlige indenlandske forbrug af cement og det samlede cementforbrug i Danmark, samt oversigt over aldersfordelingen for den samlede udstøbte betonmængde i Danmark.

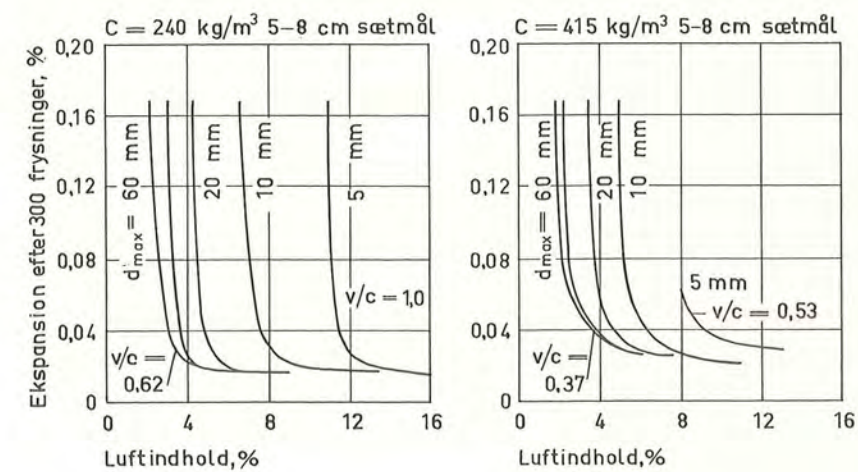
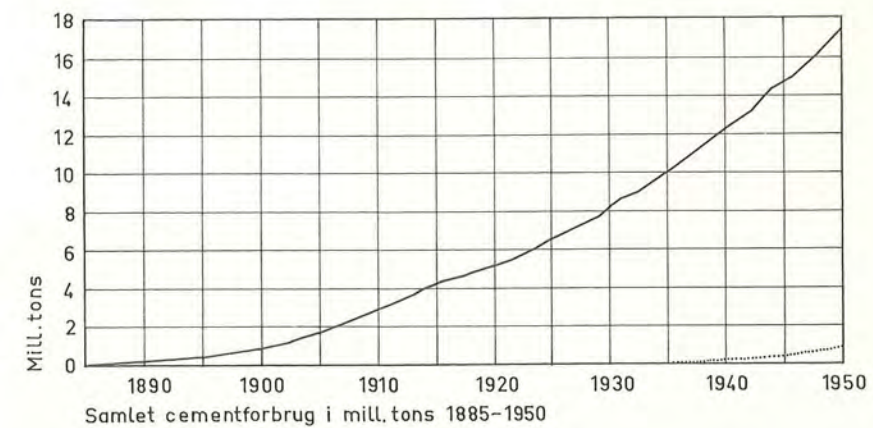


Fig.2. Forbedret holdbarhed ved anvendelse af luftindblandingsmidler. Efter KLIEGER (52 K 2).

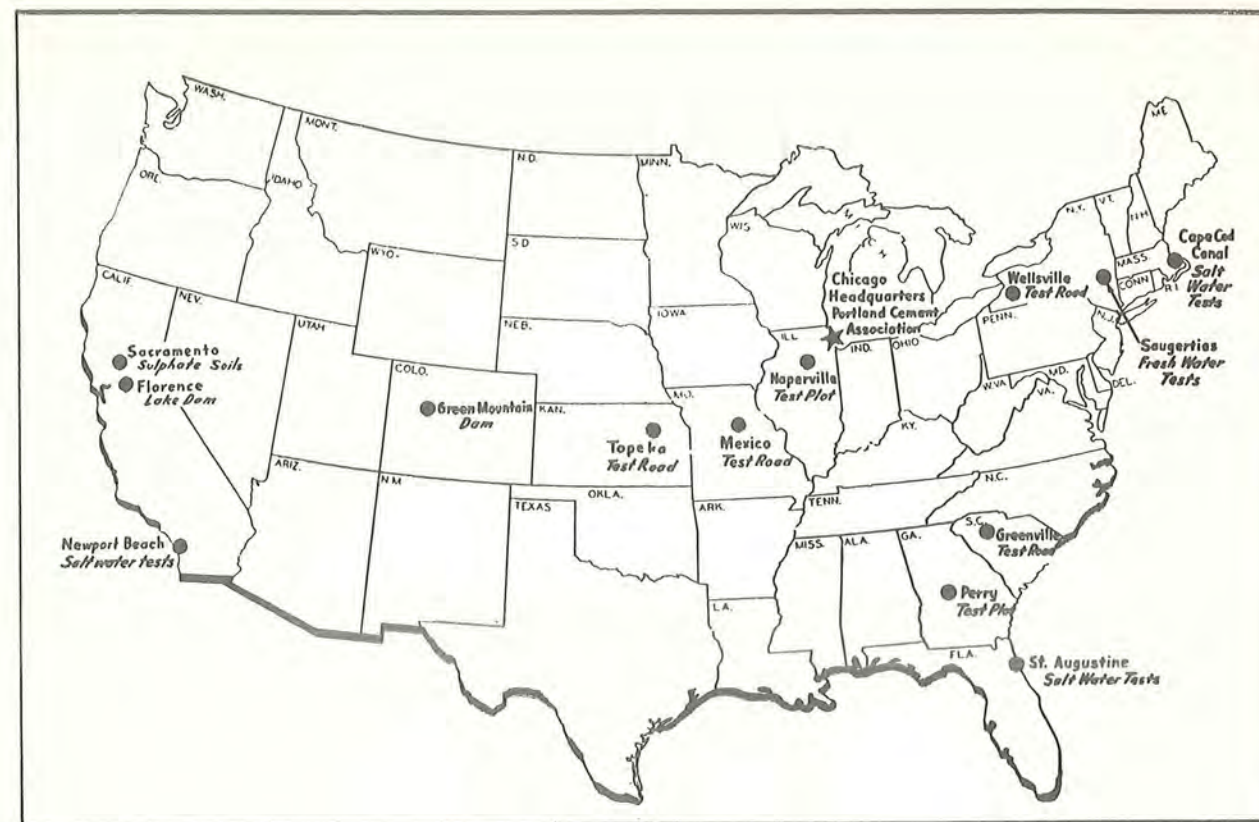
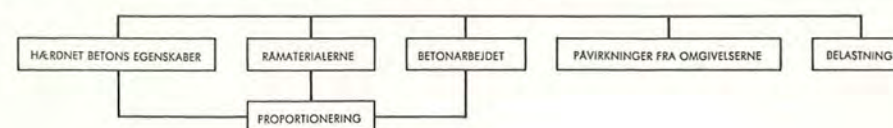


Fig.3. Kort over markforsøg med betonprøvelegemer udsat for forskellige former for lagring under varierende og meget ugunstige klimatiske forhold. (54-21).

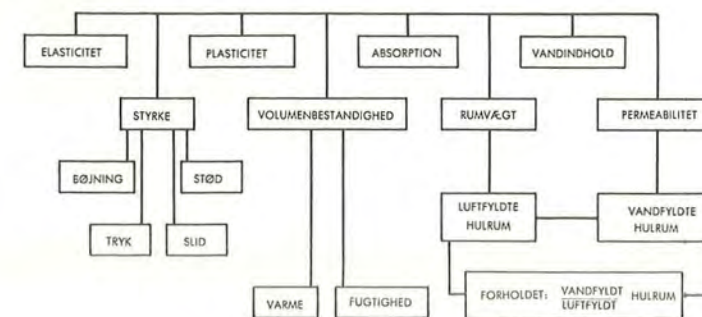


Fig.4. Markforsøg ved Naperville ved Chicago. (54 - 21).

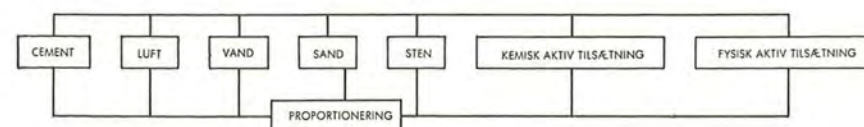
FAKTORER SOM KAN INDVIRKE PÅ BETONENS HOLDBARHED



HÆRDNET BETONS EGENSKABER



RÅMATERIALERNE



CEMENT

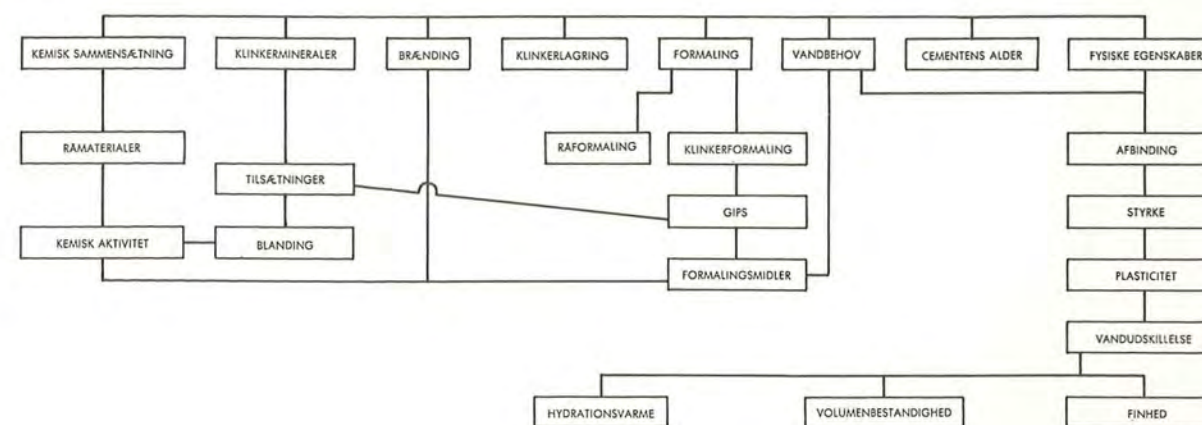
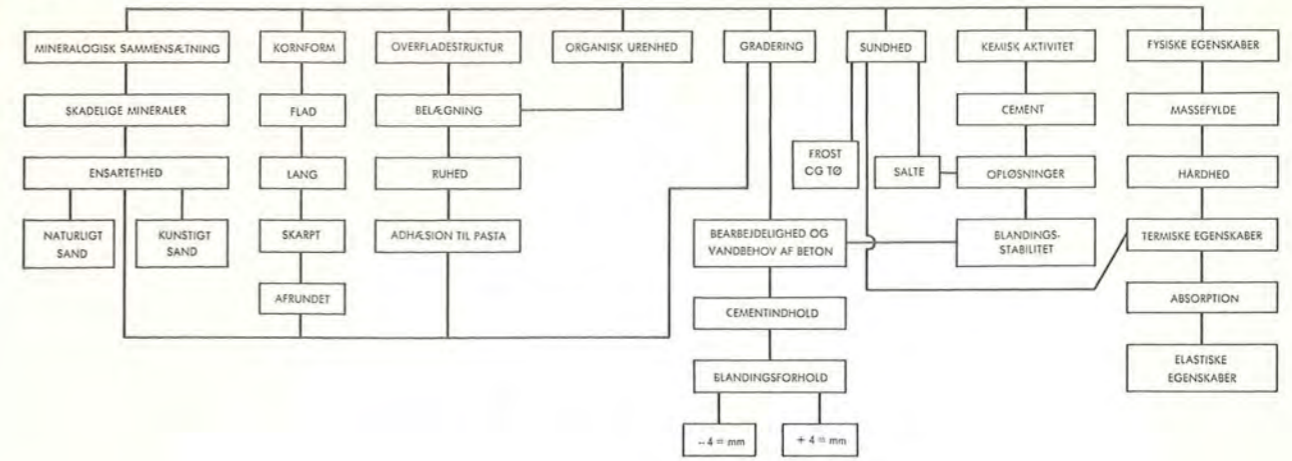


Fig.5a. Oversigt over de faktorer, der har indflydelse på betonens holdbarhed. Efter SCHOLER (52 S 15).

SAND



STEN

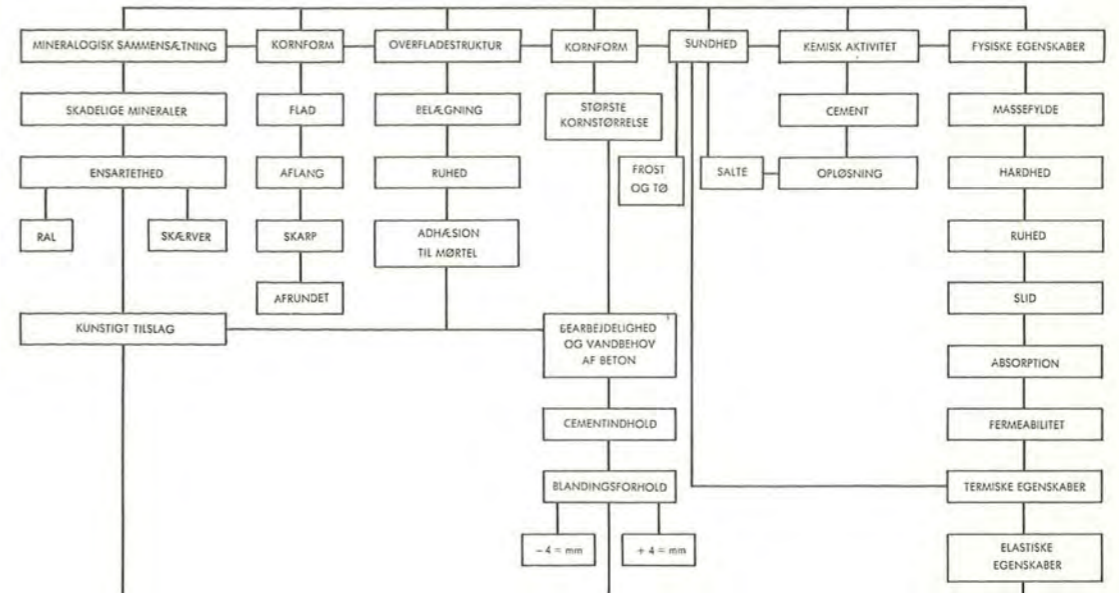
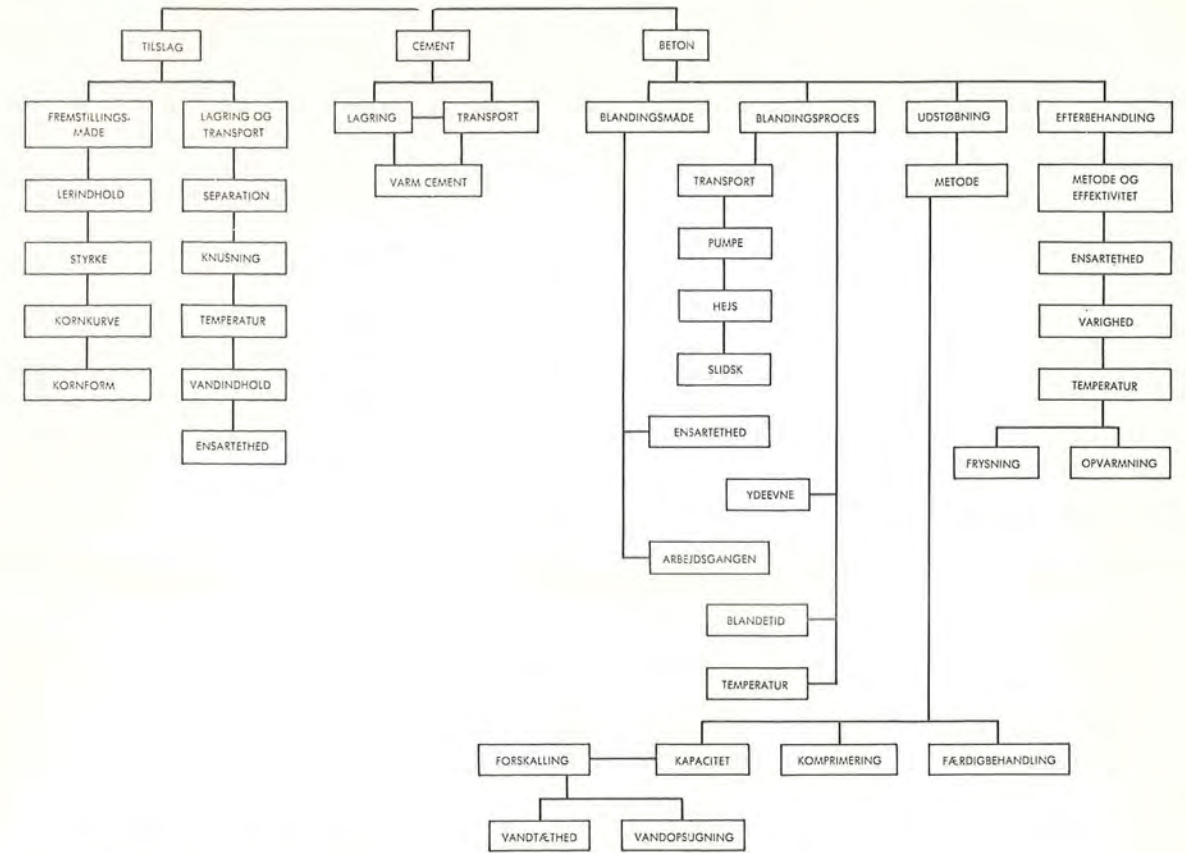
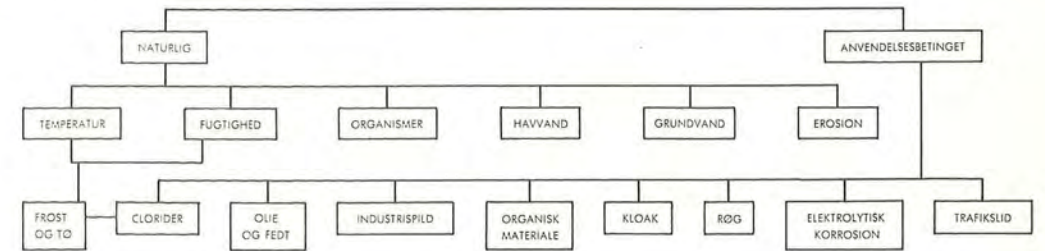


Fig.5b. Oversigt over de faktorer, der har indflydelse på betonens holdbarhed. Efter SCHOLER (52 S 15).

BETONARBEJDETS UDFØRELSE



PÅVIRKNING FRA OMGIVELSERNE



BELASTNING

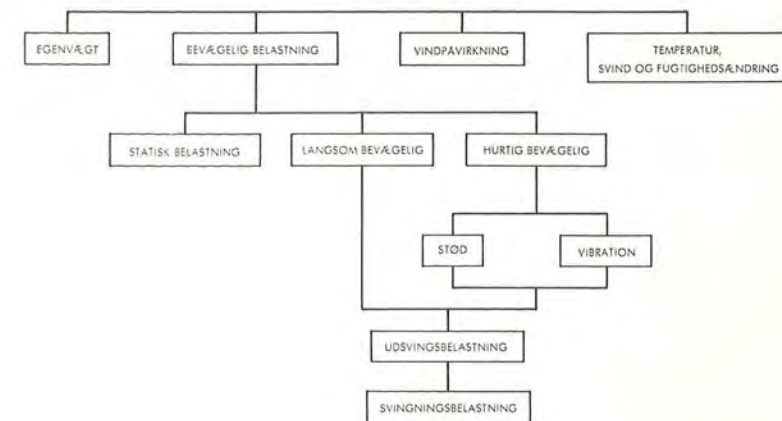


Fig.5c. Oversigt over de faktorer, der har indflydelse på betonens holdbarhed. Efter SCHOLER (52 S 15).



Fig.6. Netrevner ("map cracking") fremkaldt af, at dannelsen af alkali-kiselgel forårsager ekspansioner i betonen (52 N 1).



Fig.7. Netrevnedannelser på Ash Creek Bridge i Californien. Efter STANTON (47 S 12).

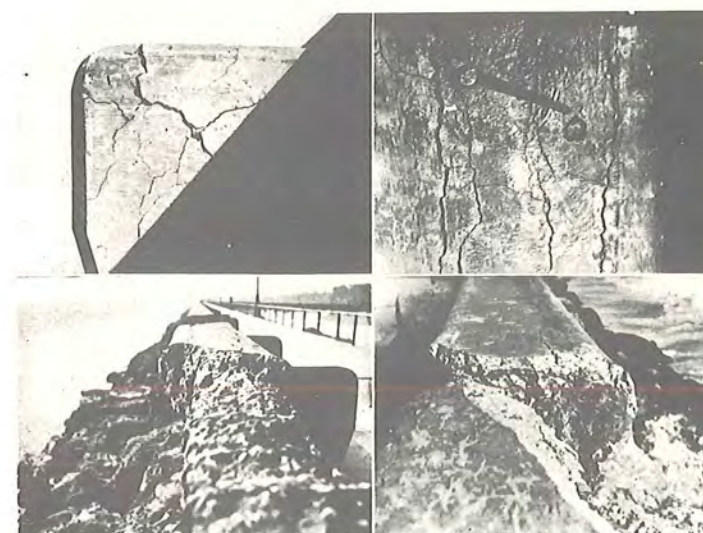


Fig.8. Netrevnedannelser på Santa Barbara Breakwater i Californien. Efter STANTON (47 S 12).

Fig.9. Mørtelprismer med Oro Fino sand viser voksende ekspansion med stigende alkaliindhold i cementen.
Efter STANTON (42 S 2).

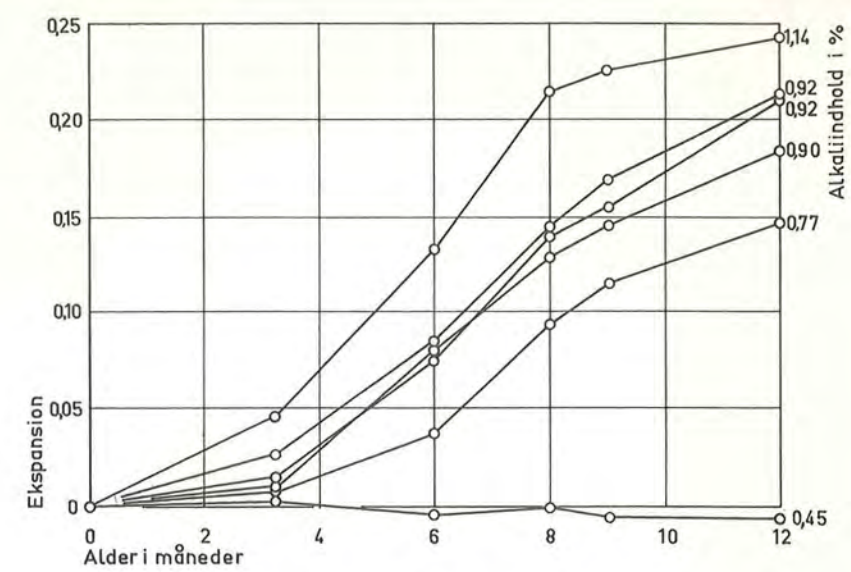
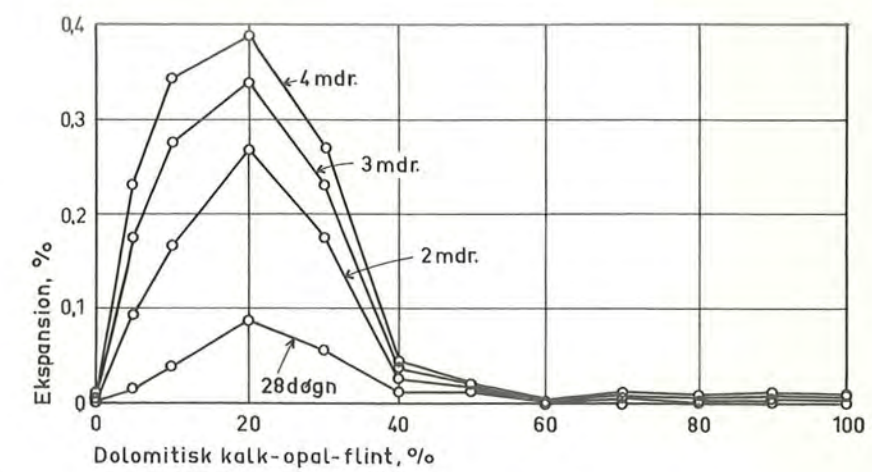


Fig.10. Mørtelprismer med højalkalicement giver ekspansioner, der afhænger af mængden af reaktivt materiale.
Efter STANTON (42 S 2).



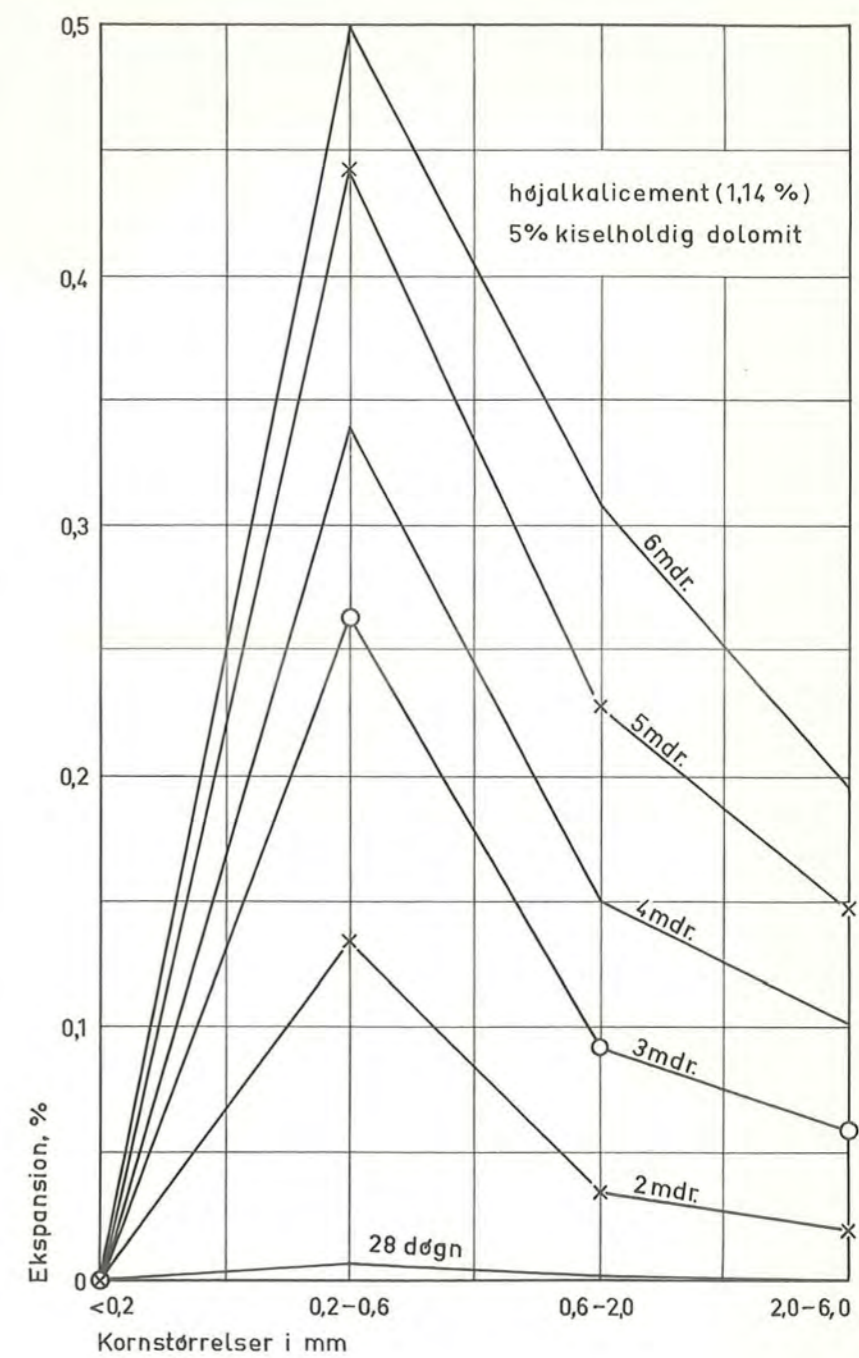


Fig.11. Mørtelprismers ekspansion afhænger af det reaktive materiales kornstørrelse.
Efter BLANKS (42 S 2).

Fig.12. Forsøgsopstilling, der har vist, at natrium-silikat ved opugning af vand i løbet af få dage kan udøve et tryk på 40 kg/cm². Efter MIELENZ (47 M 4).

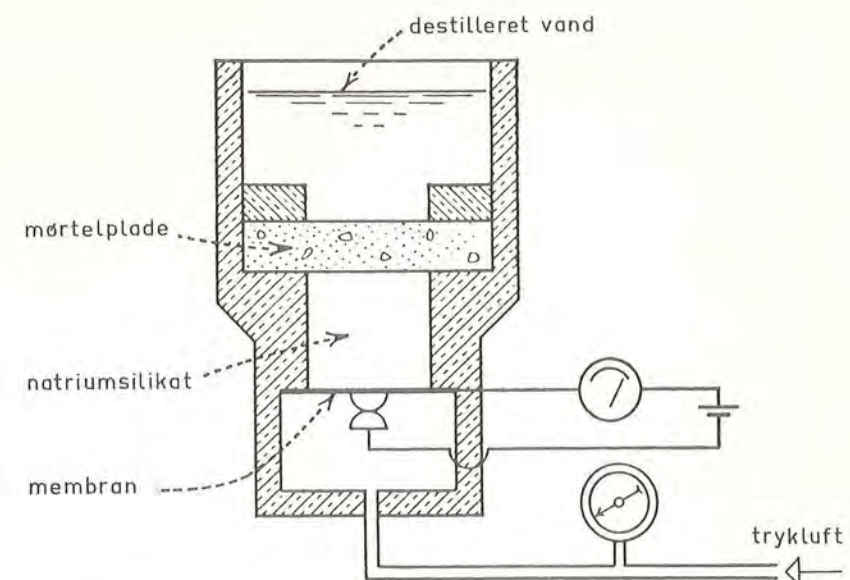


Fig.13. Oversigt over reaktive mineraler og bjergarter. Efter MIELENZ et al. (47 M 4).

ROCKS AND MINERALS WHICH ARE DELETERIOUSLY REACTIVE WITH HIGH-ALKALI CEMENTS

Reactive minerals	Chemical composition	Physical character
Opal	SiO ₂ , nH ₂ O	Amorphous
Chalcedony	SiO ₂	Cryptocrystalline fibrous
Tridymite 25	SiO ₂	Crystalline
Reactive rocks ^x		Reactive component
Siliceous rocks: Opaline cherts Chalcedonic cherts Siliceous limestones Volcanic rocks[†]: Rhyolites and rhyolite tuffs Dacites and dacite tuffs Andesites and andesite tuffs Metamorphic rocks: Phyllites Miscellaneous rocks: Any rocks containing veinlets, inclusions, or grains of the reactive rocks or minerals listed above.		Opal Chalcedony Chalcedony and/or opal Volcanic glass, devitrified glass, and tridymite Hydromica (?)

x) Artificial silicate glasses, such as Pyrex glass, are known to be deleteriously reactive.
 †) The volcanic types listed are known to be deleteriously reactive; basalts are known to be innocuous; data regarding trachytes, latites, and phonolites are lacking.

Fig.14. Mørtelprismers ekspansion afhænger af mineralets art. Ekspansioner over 0.1% anses for ødelæggende i bygværker. Man bemærker, at opal i løbet af 2 måneder har givet ekspansioner på 1%. Efter MIELENZ (47 M 4).

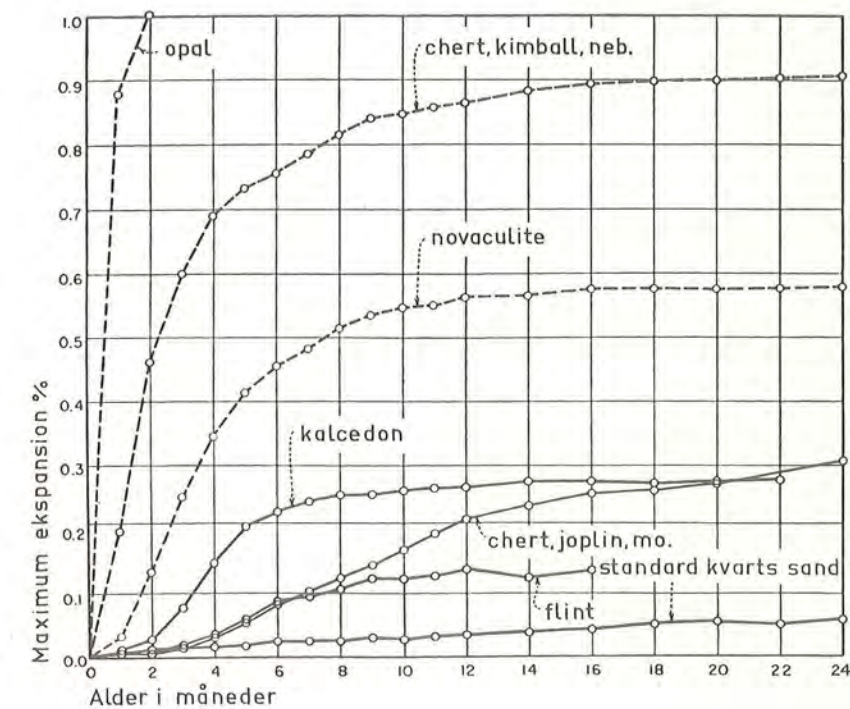


Fig.15. Ekspansionerne afhænger af forholdet mellem mængden af cementens alkaliindhold og reaktivt materiale.
Efter WOOLF (52 W 5).

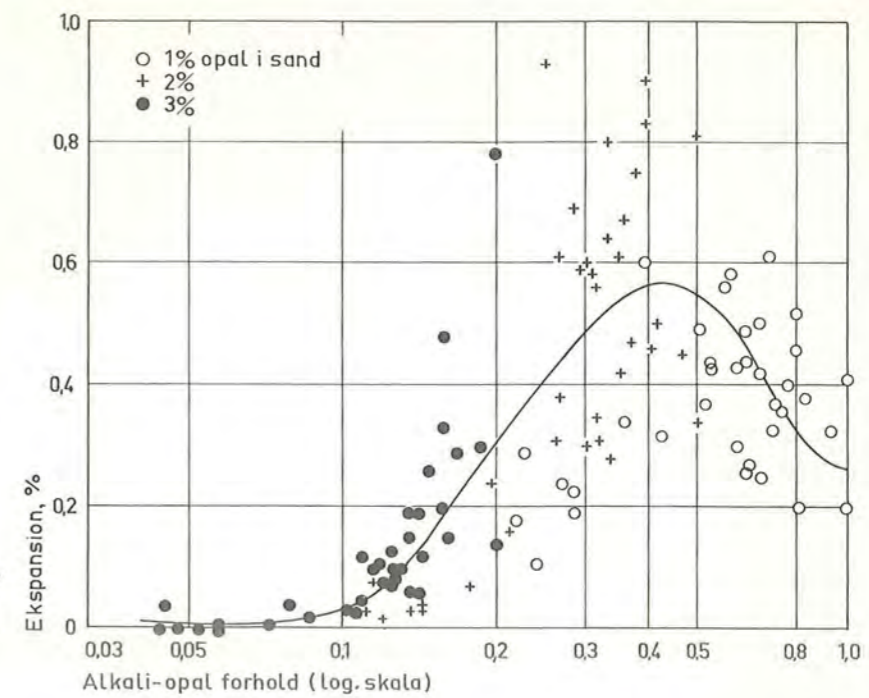


Fig.16. Bygværker i U.S.A., hvor der med sikkerhed er konstateret alkalireaktioner i Beton.
Efter JONES (52 J 2).

Fig.17. Mørtelprismernes ekspansion kan påvirkes af tilsætningsmidler til beton.
Efter BLANKS & MEISSNER (46 B 4).

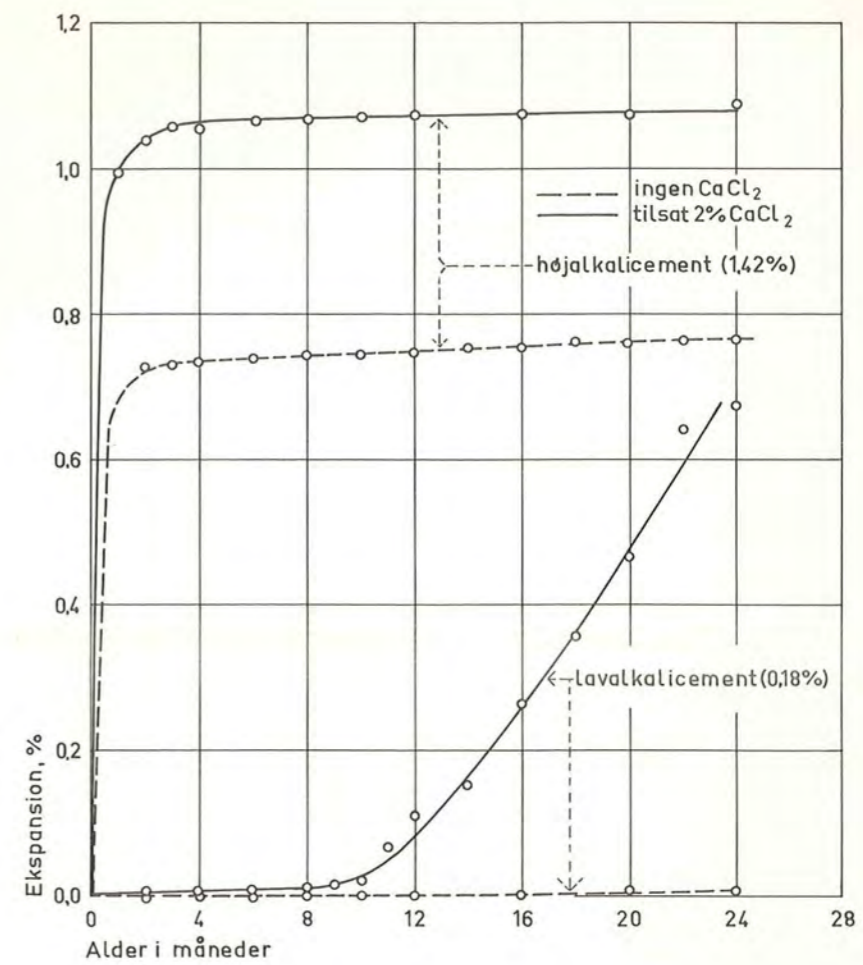


Fig.18. Empirisk bedømmelse af et grusmateriales potentielle reaktivitet ved den hurtige kemiske metode.
Efter MIELENZ (47 M 5).

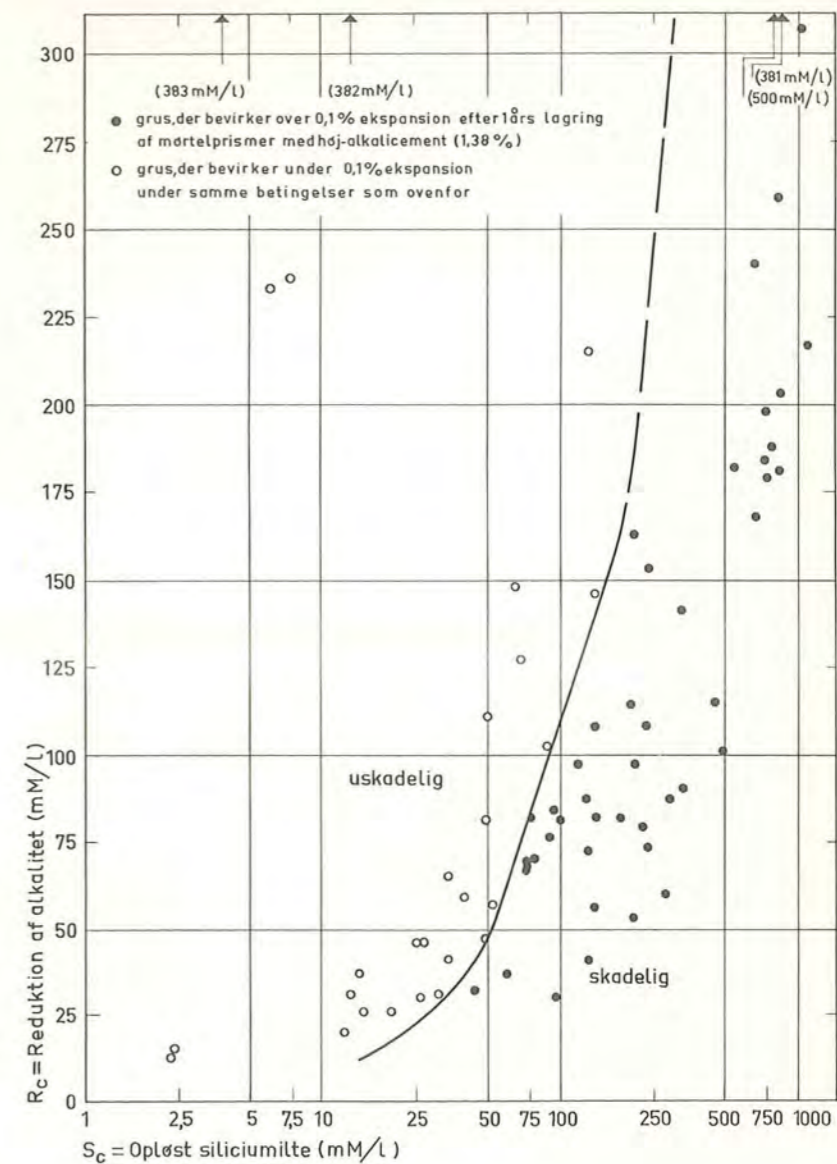
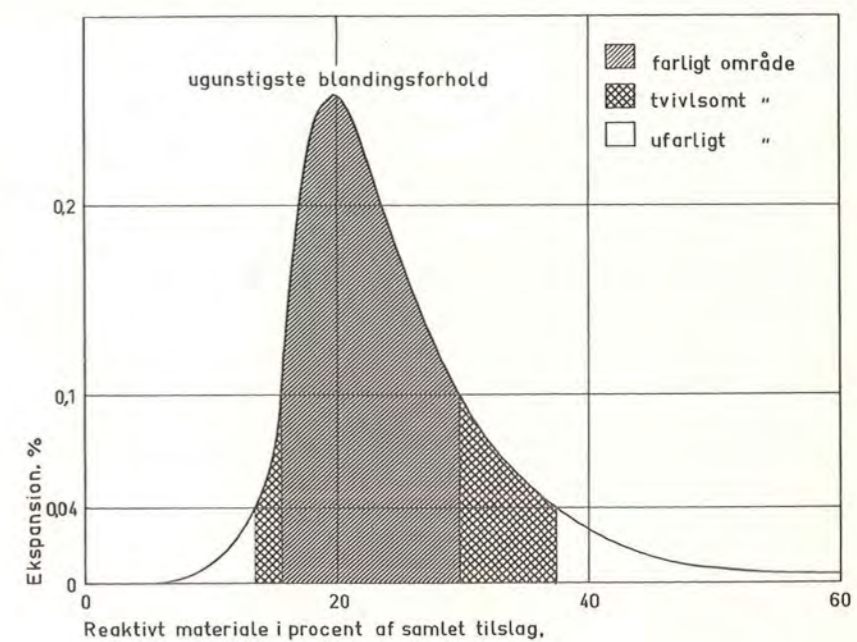


Fig.19. Mørtelprismers ekspansion vokser med stigende indhold af reaktivt materiale indtil et maksimum - det ugunstigste blandingsforhold - yderligere forøgelse af mængden af reaktivt materiale bevirker aftagende ekspansioner.



LITTERATUR

Litteraturlisten er opdelt i to afsnit, A og B. I afsnit A findes den litteratur om holdbarhedsproblemer i almindelighed, hvortil der er henvist i artiklen. Afsnit B giver en oversigt over væsentlige artikler om alkalireaktioner i beton, der med en enkelt undtagelse er offentliggjort inden udvalgets nedsættelse.

Publikationerne er angivet i kronologisk rækkefølge. Publikationsåret er angivet ved de to sidste cifre af årstallet. Det store bogstav er første bogstav af forfatterens efternavn. De sidste cifre angiver den kronologiske rækkefølge for registreringen indenfor disse grupper.

A. Holdbarhedsproblemer i almindelighed

- (48 B 5) Long-Time Study of Cement Performance in Concrete. Chapt.4. Microscopical Study of Clinkers. L.S.Brown. Proc.ACI. Detroit, May 1948. Vol.44. No.9. pp. 877-908. With 22 references to literature.
- (48 L 3) Long-Time Study of Cement Performance in Concrete. Chapt.3. Chemical and Physical Tests of the Cements. William Lerch and C.L. Ford. Proc.ACI. Detroit, April 1948. Vol.44. pp.745-795. With 11 references to literature.
- (48 M 4) Long-Time Study of Cement Performance in Concrete. Chapter 2. Manufacture of the Test Cements. F.R. McMillan and W.C.Hansen. Proc.ACI. Detroit, March 1948. Vol.44. pp. 553-602.
- (48 M 11) Long-Time Study of Cement Performance in Concrete. Chapter 1. History and Scope. R.F.McMillan and I.L.Tyler. Proc.ACI. Detroit, February 1948. Vol.44. pp. 441-453.
- (49 M 30) Long-Time Study of Cement Performance in Concrete. Chapter 5. Concrete Exposed to Sulfate Soils. F.R.McMillan, T.E.Stanton, I.L. Tyler and W.C.Hansen. Research Laboratories of the Portland Cement Association. Chicago, December 1949. Bulletin 30. Reprint from a Special Publication of the ACI, Detroit. 64 pp.
- (49 V 11) Long-Time Study of Cement Performance in Concrete, with Special Reference to Heats of Hydration. Chapter 6. George J. Verbeck and Cecil W.Foster. Research Laboratories of the Portland Cement Association. Chicago, October 1949. Bulletin 32. With 12 references to literature. Reprint from ASTM, Philadelphia, 1950. Vol. 50. 28 pp.

- (51 W 6) Effect of Mortar Saturation in Concrete Freezing and Thawing Tests. Thomas M. Whiteside and Harold S. Sweet. Highway Research Board. Proceedings, 30th Annual Meeting. Washington, 1950. pp. 204-216. With 18 references to literature.
- (52 K 2) Studies of the Effect of Entrained Air on the Strength and Durability of Concretes Made with Various Maximum Sizes of Aggregate. Paul Klieger. Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association. Chicago, October 1952. Research Department Bulletin 40. Authorized reprint from Proceedings of the Highway Research Board. Vol.31. p. 177 (1952).
- (52 N 6) Grusets indflydelse på betons holdbarhed. (Concrete Durability Influenced by Aggregate). P.Nerenst. Beton-Teknik. København, april 1952. Årgang 18, nr. 1. pp.21-34. Engelsk summary. 5 litteraturhenvisninger.
- (52 S 15) Significant Factors Affecting Concrete Durability. C.H.Scholer. ASTM Proc. Philadelphia, 1952. Vol.52. pp.1145-1154. Discussion pp.1157-1158. With two references to literature.
- (53 N 2) Betonstøbning om vinteren. P.Nerenst, E.Rastrup og G.M.Idorn. Statens Byggeforskningsinstitut. København, 1953. Anvisning 17. 61 pp. 21 litteraturhenvisninger.

B. Alkalireaktioner i beton

- (40 S 1) Concrete Performance in an Arid Climate. Thomas E. Stanton. Proc.ACI. Detroit, November 1940. Vol.37. pp.141-155.
- (40 S 7) Expansion of Concrete through Reaction between Cement and Aggregate. T.E.Stanton. Proc. A.S.C.E., New York, 1940. Vol.66. pp. 1781-1811.
- (41 B 1) The Nature of the Processes Leading to the Disintegration of Concrete, with Special Reference to Excess Alkalies. Charles P. Berkey. Proc.ACI. Detroit, June 1941. Vol.37. pp.689-692. Discussion 692-1 - 692-3.
- (41 B 3) Concrete Deterioration at Parker Dam. R.F.Blanks. Eng. News-Record. New York, 1941, Vol.126. pp.46-9.
- (41 K 5) Investigation of Causes of Delayed Expansion of Concrete in Buck Hydroelectric Plant. H.A.Kammer and R.W.Carlson. Proc.ACI. Detroit, June 1941. Vol.37. pp.665-671.
- (41 M 1) Cracking in Concrete Due to Expansive Reaction between Aggregate and High-Alkali Cement as Evidenced in Parker Dam. H.S.Meissner. Proc.ACI. Detroit, April 1941. Vol.37. pp.549-568. Discussion 568-1 - 568-6.
- (41 T 5) Evidence in Washington of Deterioration of Concrete through Reactions between Aggregates and High-Alkali Cements. Bailey Temper. Proc.ACI. Detroit, June 1941. Vol.37. pp.673-686.
- (42-14) Reactions between Aggregates and Cement. Concrete and Constr. Eng. London, June 1942. Vol.37. p.199.

- (42-27) Progress Report. Alkalies in Cements and their Effect on Aggregates and Concrete. Bureau of Reclamation. Laboratory Report No. Ce 40. Denver, Colorado, July 1942.
- (42 C 3) Expansion of Concrete due to Reaction between Andesitic Aggregate and Cement. H.A.Coombs. Am.J.Sci. 1942. Vol.240. pp.288-97.
- (42 M 4) Studies of Deterioration of Pavement Concrete at Kimball, Nebraska. R.C.Mielenz. Petrographic Laboratory Report, No.Pet-36. Bureau of Reclamation. Denver, Colorado, October 1942.
- (42 S 1) California Experience with the Expansion of Concrete through Reaction between Cement and Aggregate. T.E.Stanton, O.J.Porter, L.C.Meder and A.Nicol. Proc.A.C.I. Detroit, January 1942. Vol. 38. pp.209-36. Discussion pag.236, (1-39).
- (42 S 2) Expansion of Concrete through Reaction between Cement and Aggregate. T.E.Stanton. Transactions A.S.C.E. New York. 1942. Vol.107. Paper No.2129. pp.53-126. Reprint. 73 pp. Discussion by R.F.Blanks, A.S.C.E. Proc.1941. Vol.67. p.904 and by B.Tromper, A.S.C.E. Proc. 1941. Vol.67. p.509.
- (43 A 6) A Review of the Evidence Concerning Expansive Reaction between Aggregate and Cement in Concrete. A.R.Alderman. C.S.I.R. Australia, 1943. Bull. No.161.
- (43 B 9) Notes on Effect of Alkalies in Portland Cement on the Durability of Concrete. R.F.Blanks. A.S.T.M. Proc. Philadelphia, 1943. Vol.43. pp.199-208.
- (43 S 1) Studies to Develop an Accelerated Test Procedure for the Detection of Adversely Reactive Cement-Aggregate Combinations. T.E.Stanton. Proc. A.S.T.M. Philadelphia, 1943. Vol.43. pp.875-893. Discussion 894-904. L.Schumann and Hornibrook. A.S.T.M. Proc. 1943. Vol.43. (p.899).
- (44 B 4) Reactivity of Aggregate Constituents in Alkaline Solutions. Leonard Bean and J.J. Tregoning. Proc. ACI. Detroit, September 1944. Vol.41. pp.37-49. Discussion pp.49-51.
- (44 C 1) Accelerated Tests of Concrete Expansion due to Alkali-Aggregate Reaction. R.W.Carlson. Proc. ACI. Detroit, January 1944. Vol.40 pp.205-12. Discussion pp.212,1-3.
- (44 H 2) Studies Relating to the Mechanism by which the Alkali-Aggregate Reaction Produces Expansion in Concrete. W.C.Hansen. Proc.ACI. Detroit, January 1944. Vol.40. pp.213-227. Discussion pp.228, 1-9.
- (44 P 1) Alkali Etching Tests on Concrete Aggregate. W.H.Parsons and H. Insley. Proc.ACI. Detroit, January 1944. Vol.40. pp.229-243. Discussion p.244,1.
- (44 R 5) A Study of the Pat Test for Determining Alkali-Reactive Aggregate. D.G.Runner. Public Roads. 1944. Vol.24. No.2. pp.47-54. (Also Tests to Determine Alkali Reactive Aggregate, Concrete, 1944. Vol.52. pp.154-6.)
- (44 S 10) Repairs to Buck Powerhouse and Dam. P. Sporn and H.A.Kammer. Civil Engineering. New York, July 1944. p. 285.

- (44 T 1) The Effect of Alkalies in Portland Cement on the Durability of Concrete. Bailey Tremper. Proc.ACI. Detroit, November 1944. Vol. 41. pp.89-104.
- (45 A 4) A Qualitative Test for Cement-Aggregate Reaction. A.R.Alderman, A.J.Gaskin and H.E.Vivian. Journal of the Council for Scientific and Industrial Research (Australia). November 1945. Vol.18. No.4.
- (45 B 7) Deterioration of Concrete Dams due to Alkali-Aggregate Reaction. R.F.Blanks and H.S.Meissner. A.S.C.E. Proc. 1945.Vol.71. pp.3-18. Discussion, A.S.C.E. Proc. 1945. Vol.71. p.1089, 1556; 1946, Vol.72. p. 126, 655.
- (45 H 12) The Problem of Reaction between Aggregate Materials and High Alkali Cements. C.O. Hutton. New Zealand J.Sci. and Technology. 1945. Vol.26. No.4. pp.191-200.
- (45 J 3) Disintegration of Bridge Concrete in the West. F.H.Jackson, Public Roads. 1945. Vol.24. No.4. pp.98-111.
- (45 M 15) Petrographic Examination of Concrete Samples from Coolidge Dam. D. McConnell. Petrographic Laboratory Report No. Pet-70. Bureau of Reclamation. Denver, Colorado, May 1945.
- (45 M 16) Petrographic Examination of Concrete from Pavements near Phoenix Arizona; of Concrete from Mormon Flats Dam; and of Concrete Aggregate from Phoenix, Arizona. D. McConnell and R.C. Mielenz. Petrographic Laboratory Report, No. Pet-74. Bureau of Reclamation. Denver, Colorado, September 1945.
- (45 M 17) Notes on Cement Aggregate Reaction in Concrete. D. McConnell and W.H.Irwin. American Mineralogist. U.S.A., 1945. Vol.30. pp.78-80.
- (45 T 6) Evidence in Washington of Deterioration of Concrete through Reaction between Aggregate and High Alkali Cements. B. Tremper. Proc.ACI. Detroit, 1945. Vol.37. pp.673.
- (46-66) Committee C-I on Cement, Effect of Alkalies in Portland Cement on the Durability of Concrete. A.S.T.M. Bulletin. Philadelphia, 1946, October. pp.28-34.
- (46 B 4) The Expansion Test as a Measure of Alkali-Aggregate Reaction. R.F.Blanks and H.S.Meissner. Proc.ACI. Detroit, April 1946. Vol. 42. pp.517-39.
- (46 M 12) Petrographic Examination of Concrete Aggregates. R.C.Mielenz. Geol.Soc.America, Bull. U.S.A., 1946. Vol.57. pp.309-18.
- (46 R 10) Petrography of Concrete Aggregate. R.Rhoades and R.C.Mielenz. Proc.ACI. Detroit, June 1946. Vol.42. pp.581-600. With 65 references to literature.
- (47 A 8) Studies in Cement-Aggregate Reaction. A.R.Alderman, Vivian etc. Counc.Sci.Industr.Res. Melbourne, 1947. Bull. No.229. 84 pp.
- (47 A 13) Studies in Cement-Aggregate Reaction. I. Australian Aggregate and Cements. A.R.Alderman, A.J.Gaskin, R.H.Jones and H.E.Vivian. Bull.229. C.S.I.R. Australia, 1947.
- (47 H 17) Unfavourable Chemical Reactions of Aggregates in Concrete and a Suggested Corrective. W.E.Hanna, A.S.T.M. Proc. Philadelphia, 1947. pp.986-99.

- (47 M 4) Cement-Aggregate Reaction in Concrete. Duncan McConnell, Richard C. Mielenz, William Y. Holland and Kenneth T. Greene. Proc.ACI. Detroit, October 1947. pp.93-128. With 34 references to literature.
- (47 M 5) Chemical Test for Reactivity of Aggregates with Cement Alkalies; Chemical Processes in Cement-Aggregate Reaction. Richard C. Mielenz and Kenneth T. Greene and Elton J. Benton. Proc.ACI. Detroit, November 1947. Vol.44. pp.193-221. With 17 references to literature. Discussion 224/1-4.
- (47 S 12) Durability of Concrete as Affected by Aggregates. Thomas E. Stanton. Presented at Joint Session 31st Annual Meeting, National Sand and Gravel Association and the 17th Annual Meeting, National Ready Mixed Concrete Association. Los Angeles, California. March 6, 1947. 23 pp.
- (47 V 4) Studies in Cement-Aggregate Reaction. VII. The Effect of Storage Conditions on Expansion and Tensile Strength Changes of Mortar. H.E.Vivian. J.Coun.Sci.Ind.Res. 1947. Vol.20. No.585.
- (47 V 5) Studies in Cement-Aggregate Reaction. II-V. H.E.Vivian. C.S.I.R. Australia, 1947. Bulletin 229.
- (48-77) Symposium on Methods and Procedures used in Identifying Reactive Materials in Concrete. ASTM. Philadelphia. 1948. Reprint. Vol. 48. 73 pp.
- (48 K 7) A Study of Alkali-Aggregate Reactivity by Means of Mortar Bar Expansions. T.M.Kelly, L.Schuman and F.B.Hornibrook. Proc.ACI. Detroit, September 1948. Vol.45. pp.57-80. With 7 references to literature. Discussion by B.Mather, T.E.Stanton. Proc.ACI. June 1949. Vol.45. pp.80-1/80-8.
- (48 M 45) Petrographic Identification of Reactive Constituents in Concrete Aggregate. Bryant Mather. A.S.T.M. Philadelphia, 1948. Vol.48. pp.1120-1127. Reprint. 7 pp.
- (48 M 47) Tests used by Bureau of Reclamation for Identifying Reactive Concrete Aggregates. R.C.Mielenz and L.P.Witte. ASTM Proceedings, Philadelphia 1948. Vol.48. pp.1071-1103. With 16 references to literature. Discussion pp.1104-1107.
- (48 M 50) Cement-Aggregate Reaction in Concrete. Duncan McConnell, Richard C. Mielenz, William Y. Holland and Kenneth T. Greene. Proc.ACI. Detroit, October 1948. Vol.44. pp.93-127. With 34 references to literature.
- (48 P 2) Aggregate Reaction with Cement Alkalies. W.H.Parsons and H.Insley. Proc.ACI. Detroit, April 1948. Vol.44. pp.625-632. With 12 references to literature. Discussion by D.McConnell, R.C.Mielenz, W.Y.Holland and K.T.Greene. Proc.ACI. December 1948. Vol.44. No. 4 (Part 2) pp.632-1 to 6.
- (48 R 30) Petrographic and Mineralogic Characteristics of Aggregates. R.Rhoades and R.C.Mielenz. ASTM. Symposium on Mineral Aggregates, Special Technical Publication No. 83. pp.20-48. U.S.A., 1948.
- (48 R 31) Reactive Aggregates. Presented at Regional Meeting General Technical Committee of the Portland Cement Association. Roger Rhoades. Chattanooga, Tenn., 1948. Sp.30. Portland Cement Association, Chicago, 1948.

- (48 S 2) Effect of Various Coarse Aggregates upon the Cement-Aggregate Reaction. C.H.Scholer. Proc.ACI. Detroit, June 1948. Vol.44. pp. 1009-1032. With 7 references to literature.
- (48 S 38) Correlation of Laboratory Tests with Field Experiences of Excessive Concrete Expansion Induced by a Reaction between the Cement and Aggregate. Thomas E.Stanton. ASTM Proceedings. Philadelphia, 1948. Vol.48. pp.1057-1062. With 5 references to literature. Discussion pp.1063-1066.
- (48 T 15) Correlation of Laboratory Tests with Field Experience in Alkali-Aggregate Reaction. Bailey Tremper. ASTM Proc. Philadelphia, 1948. Vol.48. pp.1067-1070. With 4 references to literature.
- (48 V 4) Studies in Cement-Aggregate Reaction. Part VIII - The Expansions of Composite Mortar Bars. H.E.Vivian. J.Council for Scientific and Industrial Research. May 1948. Vol.21. No.2. pp.148-159.
- (48 W 10) A Rapid Method of Testing Materials for the Alkali-Aggregate Reaction. D.O.Wolf and T.R.Smith. Public Roads. December 1948. Vol.25. pp.118-120. Discussion by S.Walker.
- (49-5) Admixture Combats Alkali Reaction in Davis Dam Concrete. Engineering News-Record. New York, January 1949. Vol.142. No.3. pp. 83-85.
- (49-195) Etat actuel des mortiers et bétons des ouvrages portuaires portugais. Communication 2, Section II, XVII Congres International de Navigation. Lisbon, 1949.
- (49 B 8) Modern Concepts applied to Concrete Aggregate. R.F.Blanks. American Society of Civil Engineers. Proc. New York. No.4. pp. 441-468. With 38 references to literature.
- (49 B 24) The Use of Portland-Pozzolan Cement by the Bureau of Reclamation. Robert F. Blanks. Proc.ACI. Detroit. October 1949. Vol.46. pp.89-108. With 11 references to literature.
- (49 B 32) Reactive Aggregate in Concrete. R.F.Blanks and R.Rhoades. Pit and Quarry. 1949. Vol.41. No.10. pp.87-88.
- (49 G 27) Siliceous Admixture Specified for Davis Dam Concrete. J.L.Gilliland and W.T.Moran. Engineering News-Record. New York, 1949. Vol.142. No.5. pp.62-4.
- (49 S 14) Chemical Reactions of Indiana Aggregate in Disintegration of Concrete. Floyd O. Slate. ASTM. Philadelphia, 1949. Reprint. No.50. 8 pp. With 8 references to literature.
- (49 S 15) A Wetting-and-drying Test for Predicting Cement-Aggregate Reaction. C.H.Scholer. ASTM. Philadelphia. 1949 Preprint. No.46.7 pp. With 5 references to literature.
- (50-82) Some Studies to Minimize Alkali-Aggregate Reaction Troubles. Concrete. January 1950. No.9.
- (50 A 13) Australian Aggregates and Cements in Relation to Cement-Aggregate Reaction. A.R.Alderman, A.J.Gaskin, R.H.Jones and H.E. Vivian. Proc.ACI. Detroit, April 1950. Vol.46. pp.613-616.
- (50 C 19) Effect of Blast-Furnace Flag Cement on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete. H.P.Cox, R.B.Coleman and L.White. Pit and Quarry. 1950. Vol.43. No.5. pp.95-6.

- (50 G 12) Carbon Dioxide and the Cement-Aggregate Reaction. A.J.Gaskin. Proc.ACI. Detroit, April 1950. Vol.46. pp.625-627.
- (50 G 13) Water Solubility of Alkalies in Portland Cement. J.L.Gilliland and T.R.Bartley. Proc.ACI. Detroit, 1950. Vol.47. pp.153-160. With 13 references to literature.
- (50 L 21) Studies of some Methods of Avoiding the Expansion and Pattern Cracking Associated with the Alkali-Aggregate Reaction. Symposium on Use of Pozzolanic Materials in Mortars and Concretes. W.Lerch. Special Tech. Publication No.99. ASTM. Philadelphia, 1950. P.C.A. Bull. 31.February 1950. p.25. With 19 references to literature.
- (50 M 18) Method of Petrographic Examination of Aggregates for Concrete. Katharine Mather and Bryant Mather. Proc.ASTM. Philadelphia, 1950. Vol.50. p.1288. 25 pp. extensive bibliography.
- (50 M 27) Use of Admixtures Counteract Alkali-Aggregate Reaction. W.T. Moran. Proc.ACI. Detroit, 1950. pp.43-6.
- (50 M 28) Pozzolans used in Mass Concrete. Symposium on Use of Pozzolanic Materials in Mortars and Concretes. H.S.Meissner. ASTM. Philadelphia, 1950. p.16. Issued as separate publication ASTM STP No. 99.
- (50 S 12) Studies of Use of Pozzol. for Counteracting Excessive Concrete Expansion Resulting from Reaction between Aggregate and the Alkalies in the Cement. - Symposium on Use of Pozzolanic Materials in Mortars and Concretes. T.E.Stanton. ASTM Philadelphia, 1950. p.178.
- (50 S 15) Experience with Pozzolanic Materials in Kansas. Symposium on Use of Pozzolanic Materials in Mortars and Concretes. C.H.Scholer and R.L.Peyton. Proc.ASTM. Philadelphia, 1950. p.31. ASTM Pub. STP No. 99.
- (50 V 5) Some Australian Studies on Cement-Aggregate Reaction in Mortar. H.E.Vivian. Proc.ACI. Detroit, April 1950. Vol.46. pp.617-621.
- (50 V 6) Studies in Cement-Aggregate Reaction. Part IX-XV. R.H.Jones and H.E.Vivian. C.S.I.R.O. Australia, 1950. Bulletin No.256.
- (51-47) The Problem of Alkali-sensitive Aggregates and their Investigation. Zement, Kalk, Gips. 1951. Vol.4. No.8. pp.216-221.
- (51 D 4) Studies in Cement-Aggregate Reaction. XVIII. The Effect of Soda Content and of Cooling Rate of Portland Cement Clinker on its Reaction with Opal in Mortar. C.E.S.Davis. Aust.J.Appl.Sci. 1951. 2:123.
- (51 K 11) Research on Alkali-Aggregate Reaction of Concrete. Y.Kondo and K.Kitagawa. Rock Products. Chicago, 1951. Vol.54. No.9. p.102.
- (51 L 11) Investigation of the Durability of Wyoming Aggregates. R.Landgren and H.S.Sweet. University of Wyoming (Progress Report). Highway Research Abstracts. 1951. Vol.21. No.11. p.11.
- (51 M 2) New Approach to Inhibiting Alkali-Aggregate Expansion. W.J. McCoy and S.G.Caldwell. Proc.ACI. Detroit, May 1951. Vol.47. pp. 693-706. With 19 references to literature.

- (51 M 13) Cracking of Concrete on the Tuscaloosa Lock, Alabama. B.Mather. Highway Research Abstracts. 1951. Vol.21. No.11. p.18.
- (51 M 14) Chalcodony and Flint. H.G.Midgley. Geol.Mag. 1951. pp.179-184. With 7 references to literature.
- (51 O 2) Alkali-Aggregate Expansion Corrected with Portland-Slag Cement. Federico Barona de la O. Proc.ACI. Detroit, March 1951. Vol.47. pp.545-552. With 18 references to literature.
- (51 V 3) Studies in Cement-Aggregate Reaction. XVI. The Effect of Hydroxyl Ions on the Reaction of Opal. H.E.Vivian. Aust. J. Appl. Sci. No. 2:108. 1951.
- (51 V 4) Studies in Cement-Aggregate Reaction. XVII. Some Effects of Temperature on Mortar Expansion. H.E.Vivian. Aust. J. Appl. Sci. 1951. No.2:114.
- (51 V 5) Studies in Cement-Aggregate Reaction. XIX. The Effect on Mortar Expansion of the Particle Size of the Reactive Component in the Aggregate. H.E.Vivian. Aust. J. Appl.Sci. 1951. No. 2:488.
- (52-21) Designation C227-52T, Tentative Method of Test for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combination. ASTM Standards, Philadelphia, 1952. Part 3, pp. 44-51. (Issued 1950, Revised 1951, 1952).
- (52-22) Designation C - 52T. Tentative Method of Test for Potential Reactivity of Aggregates (Chemical Method). ASTM. Philadelphia, 1952.
- (52 C 4) Studies of Abnormal Expansion of Portland Cement Concrete. A.D. Conrow. Proc.ASTM. Philadelphia, 1952. Vol.52. p.1205. With 3 references to literature.
- (52 G 5) Studies in Cement-Aggregate Reaction. XX. Correlation between Crack Development and Expansion of Mortar. J.K.Mc.Cowan and H.E. Vivian. Australian Journal of Applied Science. Melbourne, September 1952. Vol.3. No.3. pp.228-232.
- (52 J 2) Reactions between Aggregates and Cement. Part I, Alkali-Aggregate Interaction: General. F.E.Jones. National Building Studies Research Paper No.14. Department of Scientific and Industrial Research (Building Research Station). London, 1952.
- (52 J 3) Reactions between Aggregates and Cement. Part II, Alkali-Aggregate Interaction: British Portland Cements and British Aggregates. F.E.Jones. National Building Studies. London, 1952. Research Paper No.15. 20 pp. With 34 references to literature.
- (52 J 4) Reactions between Aggregates and Cement. Part III, Alkali-Aggregate Interaction: The Expansion Bar Test and its Application to the Examination of some British Aggregates for Possible Expansive Reaction with Portland Cements of Medium Alkali Content. F.E.Jones and R.D.Tarleton. National Building Studies. London, 1952. Research Paper No.17. 30 pp. With 15 references to literature.
- (52 M 7) Applications of Light Microscopy in Concrete Research. Proc. Symposium on Light Microscopy. Katharine Mather. Issued as Separate Publication ASTM STP No.143.

- (52 M 8) Chemical Test for Alkali Reactivity of Pozzolans. R.C.Mielenz, K.T.Greene, E.J.Benton and F.H.Geier. Proc.ASTM 1952. Vol.52. pp.1128-44.
- (52 N 1) Betonteknologiske studier i U.S.A. Poul Nerenst. Statens Byggeforskningsinstitut. Studie nr. 7. København 1952. Engelsk summary. 117 litteraturhenvisninger.
- (52 S 11) Use of Chicago Fly Ash in Reducing Cement-Aggregate Reaction. C.H.Scholer and G.M.Smith. Proc.ACI. Detroit, February 1952. Vol.48. pp. 457-464. With 3 references to literature.
- (52 T 3) Chemical Aspects of the Durability of Cement Products. Thorwaldson. London 1952.
- (52 W 5) Reaction of Aggregate with Low-Alkali Cement. D.O.Woolf. Public Roads. 1952. Vol.27. No.3. p.50.
- (53 J 1) Alkali-Aggregate Interaction in Concrete. F.E.Jones. Chemistry and Industry. London, December 1953. No.52. pp.1375-1383. With 26 references to literature.
- (53 K 1) Research on Alkali-Aggregate Reaction of Japanese Rocks. Y.Kondo. Tokio, 1953.
- (53 K 2) Correlation between Laboratory Accelerated Freezing and Thawing and Weathering at Treat Island, Maine. Thomas B.Kennedy and Katharine Mather. Proc.ACI. Detroit, October 1953. Vol.50. pp. 141-172. With 16 references to literature. Discussion December 1954. Part 2. Proc.Vol.50. pp.172-1 to 172-20.
- (53 L 1) Significance of Tests for Chemical Reactions of Aggregates in Concrete. Wm.Lorch. Presented at 56th Annual Meeting of ASTM, July 1953.
- (53 M 2) Potential Reactivity of Aggregate in Concrete and Mortar. A Report of Subcommittee 11-b, Committee C-9 on Concrete and Concrete Aggregates. Richard C.Mielenz. ASTM Bull. Philadelphia, October 1953. No.193. pp.41-45. With 12 references to literature.
- (56 I 1) Disintegration of Field Concrete. Progress Report No.N 1. G.M. Idorn. The Danish National Institute of Building Research and The Academy of Technical Sciences. Committee on Alkali Reactions in Concrete. Copenhagen, 1956.39 pp. With 24 references to literature. With a Danish summary.

ENGLISH SUMMARY

The possibility of alkali reactions being responsible for lacking durability of concrete in Danish structures was mentioned in a report by the author (52 N 1)^{x)}. Evidence later gained strongly supported this theory and a research committee was formed in 1954 as described in details on the cover pages two and three.

A list of publications planned by the committee is given on the cover page 4, and it will appear that each paper is a report on a limited phase of the research work carried out in Denmark. Hence the present paper has the main purpose of serving as an introduction to these reports by giving Scandinavian readers an overall impression of the nature of alkali reactions in concrete mainly based upon literature in the English language.

The first sections are dealing with the increasing interest paid to the economical and technological aspects of the durability of concrete as a whole.

A brief following historical review of the research carried out in the United States on alkali reactions is hoped to make it more easily understood why the intricate nature of these reactions makes it necessary to discard the oldest and relatively simple concepts in favour of the latest highly complicated theories.

At the end a short summary of test methods is given. The paper contains several references to other publications of the committee and a comprehensive bibliography.

x) See the bibliography.

The investigation has been sponsored by:

Følgende institutioner og organisationer har givet tilskud til undersøgelsen:

Ålborg Portland-Cement-Factory Ltd.
Århus Gravel and Stone Company.
Academy of Technical Sciences.
Danish National Institute of Building Research.
Danish State Railways.
Farum Gravel and Stone Company.
Institution of Contractors.
The Institution of Gravel and Crushed Stone Producers.
Carl Nielsen Ltd.
The Research Council of the Technical Sciences.
Technical University of Denmark.
Highway Department.

Further several public and private institutions have assisted the committees.

Desuden har adskillige offentlige og private institutioner assisteret udvalgene.

The findings of the committees will be published by and by in the present series of progress reports, the purpose of which is twofold. Firstly to render information on the findings at the earliest possible moment and hereby possibly stimulate similar research work in progress elsewhere. Secondly to invite readers to comment and discuss statements and conclusions drawn in the progress reports.

Resultaterne af udvalgenes undersøgelser bliver offentliggjort efterhånden i nærværende serie af »progress reports«. Dette har et dobbelt formål: For det første at sprede kendskab til resultaterne så tidligt som muligt og herved eventuelt tilskynde til lignende forskningsarbejde andre steder, for det andet at opfordre læserne til at kommentere og diskutere vore udtalelser og konklusioner.

Comments should kindly be sent to the secretariate, c/o DNIBR, 20 Borgergade, Copenhagen K, Denmark. The number of progress reports is estimated at 30, each of them treating in detail a single phase of the work. The reports will be divided into sections as stated on page 4 of the cover.

Kommentarer bedes venligst sendt til sekretariatet, c/o SBI, Borgergade 20, København K. Antallet af progress reports anslås til 30, som hver detaljeret gør rede for en enkelt arbejdsfase. De bliver delt op i afsnit som angivet på omslagets 4. side.

The progress reports will be divided into groups as indicated below.

Progress reports bliver opdelt i grupper som angivet nedenfor.

- A. Alkali-reactions in concrete – General.
- B. Durability of Danish concrete structures.
- C. Field survey of Danish concrete structures 1954–55.
- D. Aggregate types of Denmark.
- E. Sampling and investigation of aggregate.
- F. Alkali contents of concrete components.
- G. Hypotheses on alkali-reactions in concrete.
- H. Methods of evaluation of alkali-reactions.
 - I. Alkali-reactions in mortar bars.
- K. Alkali-reactions in concrete specimens.
- L. Inhibition of alkali-reactions by admixtures.
- M. Detailed investigation of selected Danish concrete structures.
- N. Observed symptoms of deterioration.
- O. Conclusions.

Based upon the findings, which will be presented and discussed in the progress reports, it is the intention to prepare recommendations for use in practice.

Preliminary plans comprise pamphlets on repair of concrete structures and prevention of dangerous alkali-reactions in concrete.

På grundlag af de resultater, der bliver forelagt og diskuteret i progress reports, er det hensigten at udarbejde vejledning til brug i praksis.

De foreløbige planer omfatter anvisninger vedrørende reparation af betonkonstruktioner og forebyggelse af skadelige alkali-reaktioner i beton.

Progress reports issued:

Udsendte progress reports:

- D 1: A Classification of Danish Flints etc. Based on X-ray Diffractometry by A. Tovborg Jensen, C. J. Wøhlk, K. Drenck, E. Krogh Andersen and G. M. Idorn. 1957. 37 pp. Size A4. English text with Danish summary.
- L 1: Investigation of the Effect of Some Pozzolans on Alkali Reactions in Concrete by A. H. M. Andreassen, K. E. Haulund Christensen and P. Bredsdorff. 1957. 88 pp. Size A4. English text with Danish summary.
- N 1: Disintegration of Field Concrete by G. M. Idorn. 1956. 39 pp. Size A4. English text with Danish summary.

The progress reports may be ordered separately at a price of 12 Danish kroner from the secretariate, c/o DNIBR, 20 Borgergade, Copenhagen K. A 25 % reduction may be obtained by ordering the whole series.

Payment is to be made in advance for 6 reports at a time.

Progress reports kan bestilles enkeltvis til en pris af 12 kr. hos sekretariatet, c/o SBI, Borgergade 20, København K. Der kan opnås en rabat på 25 % ved bestilling af hele serien.

Betalingen sker forud for 6 rapporter ad gangen.