

CONCRETE DURABILITY INFLUENCED BY AGGREGATE
WITH AN ENGLISH SUMMARY

POUL NERENST

Bibliotekseksemplar

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

ex. 5

20 JULI 1988

00800 P

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT SÆRTRYK NR. 28

I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG KØBENHAVN 1952

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

(The Danish National Institute of Building Research)

Borgergade 20, København K. Telefon Palæ 9855

er en selvstændig institution, der ledes af en bestyrelse udpeget af boligministeren, er oprettet ved lov nr. 123 af 19. marts 1947, har til opgave »— at følge, fremme og samordne teknisk, økonomisk og anden undersøgelses- og forskningsvirksomhed, som kan bidrage til en forbedring og billiggørelse af byggeriet, samt at udføre oplysningsvirksomhed angående byggeforskningens resultater.«

PUBLIKATIONER

Fortegnelsen omfatter kun de ved denne publikations fremkomst endnu ikke udsolgte publikationer. En komplet fortegnelse kan fås ved henvendelse til instituttet.

Rapporter

er de originale, komplette beretninger om selvstændige forskningsarbejder, som udføres for eller af Institutet

- Nr. 1: *Økonomisk varmeisolering*, Poul Becher. 1949. 61 s. A₄. Kr. 7,—. 2. udgave 1950.
- Nr. 4: *Testing of 11 Danish Concrete Mixers*, Johs. Andersen, Per Bredsdorff, Niels H. Krarup, K. Malmstedt-Andersen, Poul Nerenst and Niels M. Plum. 1951. 236 s. A₄. Kr. 25,—.
- Nr. 5: *Sammenlignende undersøgelse af træ- og stålstilladser til husbygning*, Niels H. Krarup. 1951. 44 s. A₄. Kr. 25,—.
- Nr. 6: *Vinterbyggeri, forsøg afholdt af Statens Byggeforskningsinstitut i årene 1947-50*, Niels M. Plum. 1951. 108 s. A₄. Kr. 5,—.
- Nr. 7: *Dæk og huse*, Niels M. Plum. 1. del: Tekst, 178 s. 2. del: Figurer, 46 s. 1952. A₄. Kr. 20,—.
- Nr. 8: *Trinlyd i beboelsejendomme*, Fritz Ingerslev og V.E.B. Ranfelt. 1952. 40 s. A₄. Kr. 6,50.
- Nr. 9: *Tapet, rullelængde og rapportantal*, Philip Arctander og Henry F. Holm. 1952. 63 s. A₄. Kr. 6,—.
- Nr. 10: *Trommelyd, undersøgelse over støj fra gulve*, F. Larris. 1952. 28 s. A₅. Kr. 2,50.

Studier

er en blandet publikationsrække, der spænder fra litteraturgengivelser og diskussioner til forskningsprogrammer, foreløbige beretninger o. lign.

- Nr. 1: *Byggemodul, begrebets indhold og problemer i forbindelse med dets indførelse*, Mogens Voltelen. 1949. 30 s. A₄. Kr. 2,—.

(fortsættes på omslagets 3. side)

Grusets indflydelse på betonens holdbarhed

Concrete durability influenced by aggregate

Poul Nerenst, civilingeniør, Statens Byggeforskningsinstitut

666.972.1



Civilingeniør Poul Nerenst har i fjor foretaget en tre måneders studierejse til U.S.A., og de væsentligste resultater af hans rejse er nedfældet i hans rejserapport »Betonteknologiske Studier i U.S.A.«, udkommet hos Høst & Søn. I denne artikel belyser ingeniør Nerenst spørgsmålet grusets indflydelse på betonens holdbarhed, og artiklener tildels bygget på den nævnte rejserapport. De forhold, ingeniør Nerenst fremdrager, er af forholdsvis speciel karakter og har i detaljer kun været kendt af et fåtal danske ingeniører, og vi har derfor ment det af interesse for Beton-Teknik's læsere igennem denne artikel at få en oversigt over disse spørgsmål. Der er ingen tvivl om, at man i de nærmeste år fremover vil komme til at flytte hovedvægten ved vurderingen af beton fra styrkeegenskaberne til holdbarhedsegenskaberne — i hvert fald hvor det drejer sig om moderne og betydningsfulde bygværker.

siden, og i nummer 3 af »Byggeindustrien« gav stadsbygmester Svend Møller den interessante oplysning, at jernbeton først blev tilfaldt anvendt til husbygning for ca. 20 år siden.

I de sidste årtier er der sket en rivende udvikling, hvor man, takket være forbedring af cementkvaliteten, anvendelse 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 elegante og mere dristige bygninger i jernbeton, og det seneste fremskridt — den forspændte beton — vil føre udviklingen videre i denne retning.

I hele denne periode har det 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 ud fra et holdbarhedssynspunkt, dels fordi man af hensyn til rustfaren skal

JERNBETON er et forholdsvis nyt byggemateriale her i landet, idet den første armerede betonkonstruktion blev opført for ca. 60 år

overholde kravene til dæklagets tykkelse, dels fordi den erfarne ingeniør ved meget spinkle konstruktioner er klar over, at de små dimensioner, man har fundet ved beregningerne, må forøges af hensyn til konstruktionens levetid. Med vor nuværende viden er det imidlertid vanskeligt at etablere en sammenhæng mellem betonens dimensioner og »kvalitet« på den ene side og betonens holdbarhed eller levetid på den anden side.

Der er således et voksende behov for at studere de faktorer, der bestemmer betonens holdbarhed.

Betydningen af, at betonen er holdbar

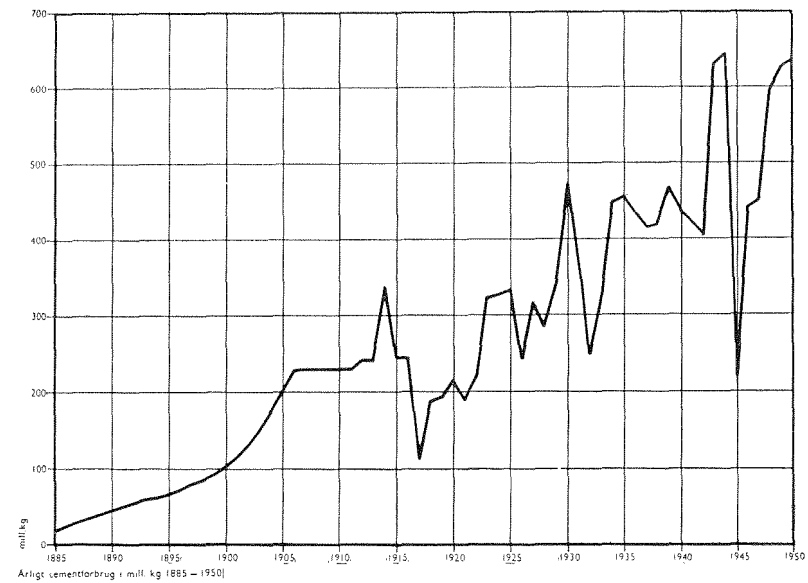
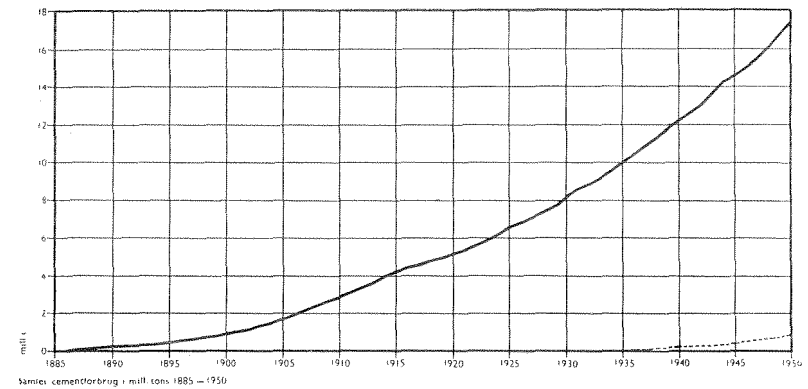
Det er ret let at bedømme de økonomiske virkninger af, at betonens styrke forøges med en vis procent som følge af en forbedret cementkvalitet, en bedre graderingskurve for gruset eller lignende, idet man umiddelbart kan beregne, hvormeget man kan formindske dimensionerne, og den deraf følgende besparelse i materialerne kan regnes ud i kr. og øre som en formindskelse af anlægsudgiften.

Det er betydelig vanskeligere at beregne, hvad en ændring i holdbarheden betyder, da dette influerer på »driftsudgifterne«, herunder udgifter til reparationer og vedligeholdelse i en vis periode,

indtil reparationsudgifterne bliver så store, at hele betonelementet må fornyes.

På grund af de manglende langtidserfaringer er det vanskeligt at regne ud, hvor stor en procentdel af materialer og arbejdskraft der anvendes til reparationer, men allerede nu har det vist sig, at enkelte danske entreprenørfirmaer har specialiseret sig i reparationer af betonbygværker, og det må forventes, at der bliver et stigende behov for udførelse af sådanne reparationsarbejder, da reparationsbehovet for samtlige danske konstruktioner blandt andet vil være en funktion af aldersfordelingen for den samlede udstøbte betonmængde her i landet. Som et tilnærmet mål for betonmængden kan anvendes cementforbruget.

På diagrammerne side 3 er vist det årlige indenlandske forbrug af cement, og det samlede cementforbrug i Danmark. Reparationsbehovet er afhængig af middellevetiden for betonelementer i en bestemt aldersgruppe, og denne levetid afhænger af elementets »kvalitet« og de ydre påvirkninger. Hvis middellevetiden skønsmæssigt anslås til 50 år, og det forudsættes, at den beton, der er fremstillet i de sidste årtier, ikke har større holdbarhed end den ældre beton, vil kurven for reparationsbehovet være parallel med



Den nederste kurve angiver det årlige cementforbrug i millioner kg 1885-1950 i Danmark. Den øverste kurve angiver det samlede cementforbrug i millioner tons 1885-1950. Med den stiplede linie er angivet det opsummerede reparationsbehov under forudsætning af en middellevetid for betonkonstruktioner på 50 år.

The lower curve represents the annual cement consumption from 1885 to 1950 in million kg in Denmark. The upper curve represents the total cement consumption from 1885 to 1950 in million tons. The dotted line indicates the cumulative need of repairs on the assumption of an average lifetime of concrete structures of 50 years.

sumkurven for cementforbruget og blot være forskudt 50 år. Under denne forudsætning vil reparationsbehovet være stærkt stigende i fremtiden, som antydtes med stiplede linie på figuren, og en stadig voksende del af den tilgængelige arbejdskraft og materialeproduktion må anvendes til reparationer i stedet for nybyggeri. Kun i tilfælde af, at den beton, der bliver fremstillet i fremtiden, er mere holdbar, vil reparationsbehovet stige mindre end ekspansionen i cementforbruget.

For at formindske reparationsbehovet for fremtidige konstruktioner må man i langt større udstrækning interessere sig for betonholdbarheden som en vigtig del af samfundets økonomi, og dette medfører krav om undersøgelser, udarbejdelse af prøvemethoder, ændring af dimensioneringsgrundlaget og oplysningsvirksomhed. Bl.a. er det nødvendigt at studere holdbarheden som en uafhængig faktor, idet man ikke, som man hidtil har gjort, kan gå ud fra, at en i anlægsøjeblikket stærk beton nødvendigvis er en holdbar beton.

Styrke og holdbarhed

Som påpeget ovenfor, er det som oftest styrken, der lægges til grund for proportioneringen af betonen, idet man så mener, at de øvrige gode egenskaber samtidig

opnås, men de senere års undersøgelser har vist, at det kun er i meget grove træk, der består en sammenhæng mellem styrken og f.eks. vandtæthed, holdbarhed ved frost og tø o.s.v.

Dette er man begyndt at tage hensyn til i normerne, hvor man nu foreskriver et minimalt cementindhold. Denne grænse skal overholdes ved jernbeton, selv om man ved kraftige komprimeringsmetoder kan bringe vandbehovet, og dermed vand-cementforholdet, ned på så lave værdier, at man opnår den ønskede styrke med et lavere cementindhold. Bestemmelsen er utvivlsomt fastsat af holdbarhedshensyn, selv om det ikke er angivet i normerne.

Dæklagets tykkelse er i normerne fastsat alene som funktion af de ydre forhold, d.v.s. i relation til chancerne for frost og tø, røgangreb o.s.v. men uden større hensyntagen til egenskaber hos det dækkende betonlag.

Dæklagets opgave er at forhindre armeringen i at ruste. Da jernet kun rust, når ilt og fugtighed får adgang, vil rustfaren være afhængig af betonens tæthed, der igen er en funktion af v/c-forholdet og betonens vandudskillelse (bleeding), idet amerikanske undersøgelser (46 P4) har vist, at navnlig det sidste har stor betydning, da vellagret ren cementpasta er praktisk taget uigennem-

trængelig for vand – samme tæthed som granit – medens gennemsvivende vand i beton følger kanaler og hulrum, der er opstået under vandudskillelsen, der som bekendt kan vise sig som et lag vand på den nylig udstøbte betons overflade, samtidig med at der under sten og større sandkorn samler sig vandlommer.

Ved anvendelsen af luftindblandingsmidler bliver vandudskillelsen formindsket, og betonen bliver derfor mere vandtæt og mere rustbeskyttende til trods for, at betonens porøsitet er blevet forøget.

Da tilsætningen af luftindblandingsmidler som regel nedsetter styrken nogle få procent for fede betoner, ser vi, at ved at fremstille betonen med en noget lavere styrke får man større holdbarhed.

Amerikanske undersøgelser (51 W6) har vist, at for betonblandinger med et cementindhold mellem 220 og 370 kg. pr. m³ og et v/c forhold mellem 0,58 og 0,98 var der *ingen* sammenhæng mellem styrke og frostfasthed, d.v.s. betonens evne til efter hærdeningen at modstå gentagne frysninger og optøninger.

Frostfastheden afhænger af vandmætningsgraden, d.v.s. forholdet mellem mængden af fryseligt vand og porevolumenet i den hærtnede beton. Mængden af

fryseligt vand kan beregnes efter hypoteser og formler, der er udviklet af Powers (47 P 4). Hvis vandmætningsgraden var under 0,88, blev der ikke observeret skader af nogen art ved 200 frysninger i luft af $\pm 23^{\circ}\text{C}$ og optøning i vand af $+14^{\circ}\text{C}$.

Denne sammenhæng mellem vandmætningsgrad og frostfasthed var gældende, hvad enten »reservecorerne« skyldtes luftindblanding eller delvis udtørring af prøvelegemet.

Uanset cementindhold og v/c-forhold havde prøvelegemerne et tab i elasticitetsmodulen på ca. 30% i løbet af 6 frysninger, hvis vandmætningsgraden var højere end 0,90.

Undersøgelsen viste ligeledes, at vandmætningsgraden forblev under den kritiske værdi på 0,88, hvis betonen blev fremstillet med et initialt luftindhold på 3%.

Disse få eksempler, som kan suppleres med en lang række andre, viser, at holdbarheden ikke er en funktion af styrken, men må studeres som et selvstændigt problem. Der findes ingen genveje.

Laboratorieundersøgelser af betons holdbarhed er langvarige og kræver dyrt materiel, og det har også været vanskeligt at finde metoder, der gør det muligt at efterligne naturens på-

virksomheder og samtidig give pålidelige forsøgsresultater inden for en rimelig tid. Der er dog ingen tvivl om, at man trods vanskelighederne burde interessere sig mere for betonens holdbarhed, end man hidtil har gjort her i landet. En diskussion af disse forhold ligger dog uden for denne artikels rammer, idet man i det følgende kun vil beskæftige sig med de krav, der må stilles til gruset, for at opnå en holdbar beton.

Der vil ligeledes blive antydning, hvorledes undersøgelserne foretages, idet der for en mere detaljeret beskrivelse dels henvises til forfatterens rejserapport, dels til den deri omtalte originale litteratur.

Grusets sundhed

For at kunne opnå en holdbar beton må de enkelte bestanddele være modstandsdygtige over for frost og tø og anden form for forvitring. Efter 10 års forsøg og praktiske erfaringer i U.S.A. er man nu i stand til at fremstille en cementpasta med ca. 10 gange så stor holdbarhed som for normal beton ved at indblende 3-5% luft. Luftindblandingsmidlerne kan imidlertid ikke gøre en beton holdbar, hvis stenmaterialerne kan forvitre.

Grusets sundhed undersøges i U.S.A. efter 3 principielt forskel-

lige metoder, nemlig sulfatprøven, frysning af gruset og frysning af beton med »frostsikker« cementpasta.

Sulfatprøven

Prøven kan være orienterende i de tilfælde, hvor man ikke ved mange års erfaring har fået sikkerhed for materialernes evne til at modstå forvitring.

Ved denne metode bringes sulfater til at udkrystallisere sig i materialets porer, hvorved let forvitrende materialer vil blive sprængt.

En grusprøve opdeles i fraktioner ved sigtning, hvorefter der fra hver fraktion udtages en portion, hvis størrelse afhænger af kornstørrelsen.

Efter vejning bliver hver sigtefraktion anbragt i fintmaskede ståltrådskurve og nedsænket i en mættet opløsning af natriumsulfat eller magniumsulfat, hvor de henstår i 16-18 timer ved en temperatur på 21 °C.

Efter neddykningsperioden bliver prøverne tørrede i en ovn til konstant vægt ved en temperatur af 105-110°C.

Denne proces gentages et nærmere specificeret antal gange, f.eks. 10, hvorefter man udvasker prøven med rent vand for at fjerne overskydende natrium- eller magniumsulfatopløsning. Efter fornyet tørring sigtes prø-

verne atter, og man bestemmer vægttabet på hver fraktion, hvorefter man fra den oprindelige sigteanalyse kan bestemme et afvejet vægttab for den oprindelige sten eller sandprøve.

Der er ikke i de amerikanske normer angivet nogen specifikation for cyklernes antal og maksimalt vægttab, idet det beror på den enkelte bygherre at formulere sine krav.

U.S. Army, Corps of Engineers angiver f.eks. et maksimalt vægttab på 10% efter 10 cykler.

Metoden er et forsøg på at bedømme et grusmateriales forvittringsmodstand på en hurtigere måde end ved frysning og optøning, idet man ved at lade krystaller vokse i stenmaterialets porer mener at efterligne frostens virkning. Frysning af porøse materialer er imidlertid en så kompliceret proces, at man ikke kan forvente særlig god overensstemmelse mellem de to metoder, og resultaterne fra ovennævnte undersøgelse kan kun benyttes som en grov orientering. Det er da også angivet, at et materiale, som kasseres på ovennævnte grundlag, vil blive godkendt, hvis det består af frysings- og optøningsprøve.

Frostprøvning af gruset

Der arbejdes i U.S.A. på udarbejdelsen af standardiserede metoder for frostprøver, men van-

skelighederne er store, fordi man endnu kun har et overfladisk kendskab til hele det kompleks af faktorer, der bestemmer materialernes modstandsevne over for frost.

Ved samtaler med T.C. Powers blev det bl. a. oplyst, at anvendelse af hans teori om, at nedbrydningen skyldes, at det ufrosne vand bringes til at passere gennem porerne, når isdannelsen begynder, gør det muligt at beregne en kritisk dimension for hvert korn i afhængighed af porestrukturen og stenartens vandgennemtrængelighed.

Når partiklen overtrækkes med cementpasta, hvis vandgennemtrængelighed er af samme størrelsesorden som for granit, bliver forholdene så stærkt ændret, at det er vanskeligt at slutte fra en frostprøve af stenmaterialet, før det bliver indesluttet i betonen til, hvorledes det vil være egnet som tilslagsmateriale til beton.

Ikke desto mindre anvendes frostprøver af tilslagsmaterialer flere steder i U.S.A. Man bestemmer vægttabet af hver sigtefraktion på analog måde som ved sulfatundersøgelsen.

Frostprøvning af beton med »frostsikker« cementpasta

På grund af vanskeligheden ved at fastslå grusets frostfasthed, når det er indesluttet i beton ud fra frostfastheden ved direkte

frysning af gruset, må man efter forfatterens mening langt foretrække følgende metode, der anvendes af Concrete Research Division, U.S. Army, Corps of Engineers.

Metoden går i korthed ud på at fremstille en beton med et fast v/c-forhold på 0,49 med det grusmateriale, man vil undersøge.

Det gælder om, at den nedbrydning, man iagttaget og måler, alene skyldes gruset og ikke en kombination af gruset og cementpastaen.

Ved at indblande en tilstrækkelig luftmængde fordelt i fine porer gør man cementpastaen frostsikker. I dette tilfælde er angivet, at betonen skal indeholde $4,5 \pm 0,5\%$ luft, der er indblandet ved anvendelse af neutraliseret Vinsol Resin.

Sand og sten skal have deres kornkurve beliggende inden for de på figuren side 9 øverst angivne grænser.

Man foretrækker at udstøbe betonen med den kombination, der senere skal anvendes i bygværket, så man samtidig får undersøgt de to grusmaterialers evne til at samarbejde, når temperaturen varierer.

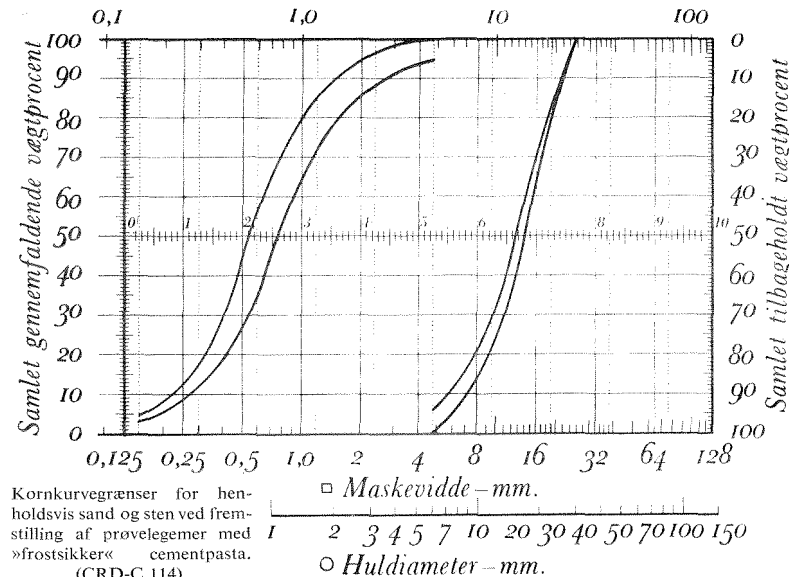
Grusets varmeudvidelse Generelle bemærkninger

I den allersidste tid er man i U.S.A. begyndt at interessere sig for en tilsyneladende meget vigtig

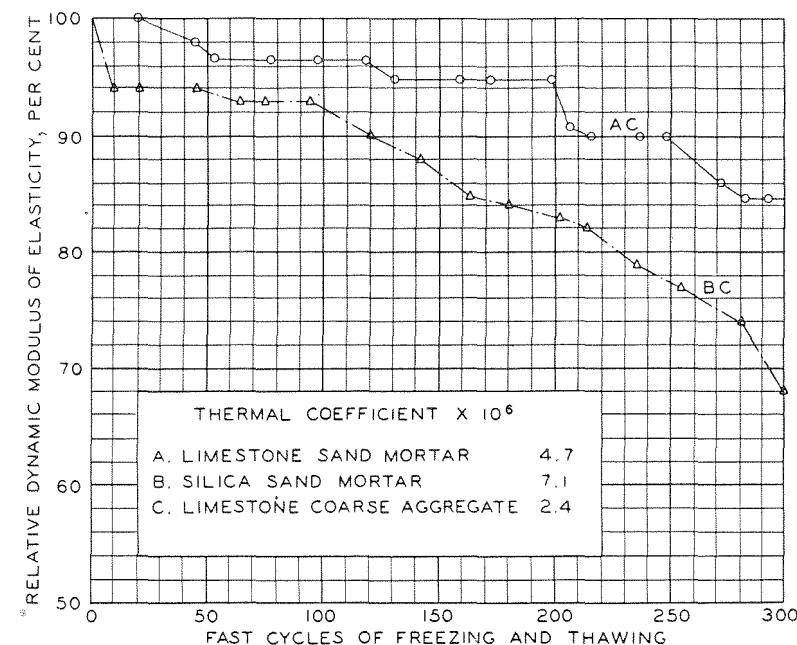
egenskab hos betonens bestanddele, nemlig deres »samarbejdsevne i varmemæssig henseende«, der på engelsk kaldes »thermal compatibility«.

Hermed mener man, at varmeudvidelseskoefficienten for gruset så vidt muligt skal være af samme størrelsesorden som cementmørtlens, og man har ved U.S. Army, Corps of Engineers gennemført en omfattende forsøgsserie, hvor man har bestemt varmeudvidelseskoefficienten for både stenmaterialet og cementmørtelen og beregnet forskellen mellem de to udvidelseskoefficienter Δc . Derefter har man fremstillet betonprøvelegemer og udsat dem for frysning og tøning og fulgt kvalitetsforringelsen ved at bestemme den dynamiske elasticitetskoefficient. Som vist på figuren side 9 nederst har man ved disse forsøg fundet en ret snæver sammenhæng mellem disse to egenskaber, således at jo større forskel der er imellem udvidelseskoefficienterne, des mindre er holdbarheden.

Resultaterne fra disse laboratorieundersøgelser har allerede medført, at Corps of Engineers ved opførelsen af en dæmning har krævet, at sandet skal fremstilles ved knusning af stenmaterialet, da det naturlige sand, der var til rådighed, ville give en mørtel, hvis udvidelseskoefficient afveg for meget fra stenenes.

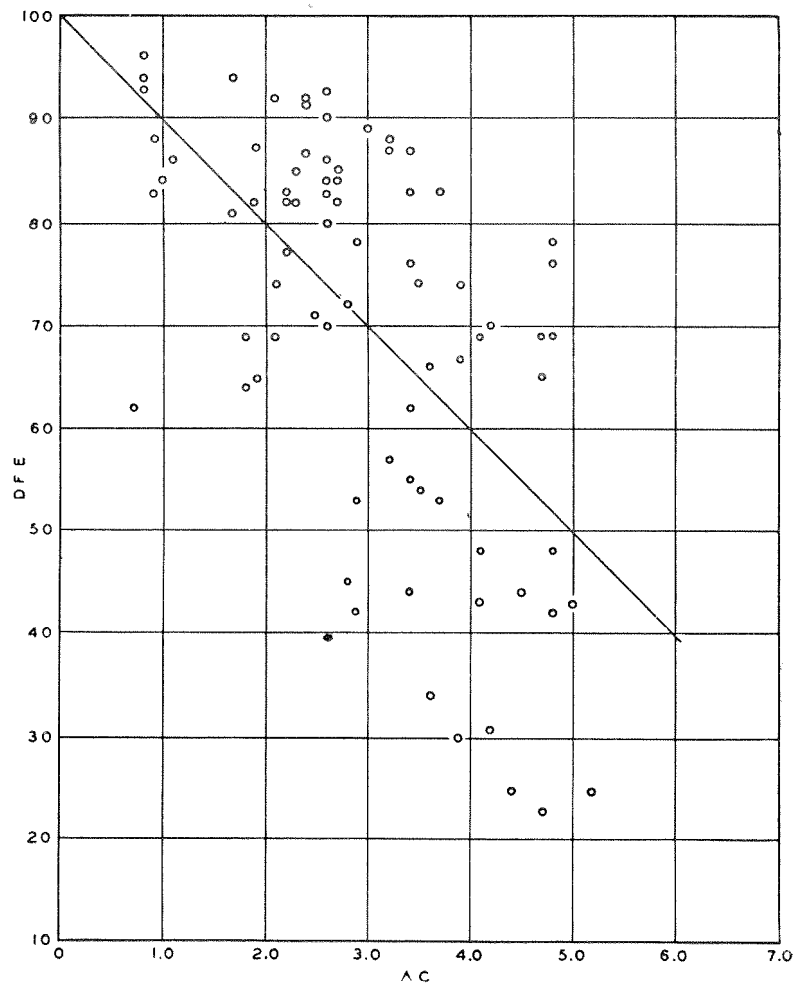


Particle size limits for sand and gravel in the making of test specimens with »frostproof« cement paste (CRD-C 114).



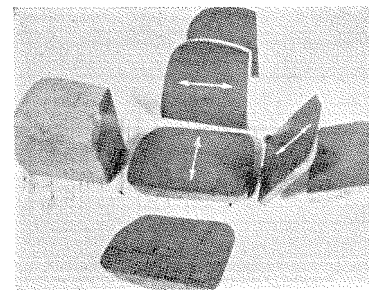
Ændring af den relative elasticitetskoefficient som funktion af antallet af frysninger og optøninger og varmeudvidelseskoefficienterne for mørtel og sten. Den øverste kurve svarer til en beton med kalksten kombineret med kalk-sandmørtel. Forskellen i varmeudvidelseskoefficienten er $2,3 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{F}$. Den nederste kurve er de samme kalksten kombineret med en mørtel af kvartsand. Forskellen i varmeudvidelseskoefficienten er her $4,7 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{F}$.

Changing of the relative coefficient of elasticity, as a function of the number of freezings and thawings, and the coefficients of thermal expansion for mortar and aggregate. The upper curve represents a concrete with limestone combined with a limestone sand mortar; the difference in coefficients of thermal expansion is $2.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{F}$. The lower curve represents the same limestone combined with a quartz sand mortar; the difference in coefficients of thermal expansion is $4.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{F}$.



Sammenhæng mellem holdbarhed og forskel i varmeudvidelseskoefficient for sten og mørtel. Som ordinat er afsat holdbarhedsfaktoren, der beregnes ud fra nedgangen i den dynamiske elasticitetsmodul efter 300 frysnings- og optøningscykluser. Som abscisse er afsat forskellen i varmeudvidelseskoefficienter $\times 10^6/^{\circ}\text{F}$.

Relation between the durability of concrete and the difference in the coefficients of thermal expansion for aggregate and paste. The durability factor, computed on the basis of the reduction in the dynamic coefficient of elasticity after 300 freezings and thawings, is plotted as the ordinate. The difference in coefficients of thermal expansion $\times 10^6/^{\circ}\text{F}$ is plotted as the abscissa.



Billedet viser, hvorledes en sten skæres i stykker, hvorefter der anbringes strain-gages, som angivet af pilene.

The illustration shows a stone which has been cut to pieces, whereupon strain-gages have been placed as indicated by the arrows.

Disse specifikationer har naturligvis medført en ikke uvæsentlig fordyrelse af anlægsudgifterne og givet anledning til megen diskussion.

Flere forskere mener, at de spændinger, der forårsages af forskellen i udvidelseskoefficienterne, er meget små i forhold til spændingerne, der forårsages af svindet. Dette er også rigtigt, men svindet optræder stort set kun en gang og på et tidspunkt, hvor betonen endnu er ung og kan udligne spændingerne ved plastiske deformationer i kitmassen, medens spændingsvekslinger som følge af temperatursvingningerne fortsætter gennem hele betonens levetid og tilsidst bevirker udmattelsesbrud. Såfremt man anerkender betydningen af betonkomponenternes samarbejdsevne når

temperaturen varieres, bliver det vigtigt, at adhæsionen mellem kitmassen og gruset etableres ved en sådan temperatur, at kitmassen under normale temperaturforhold er udsat for tryk i stedet for træk, fordi kitmassens trykstyrke er mange gange større end trækstyrken.

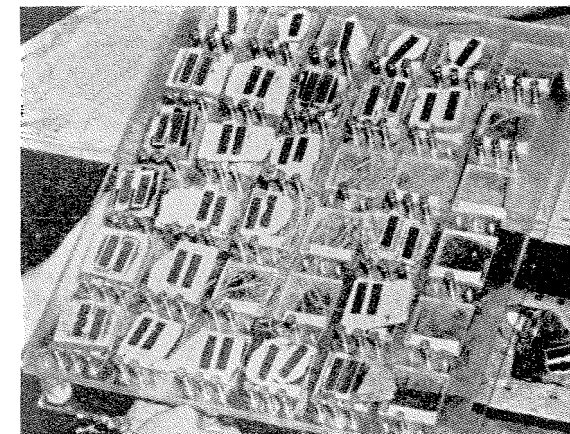
Valenta har ydet et meget interessant teoretisk bidrag til denne diskussion ved opstilling af en teori vedrørende betonens modstandsevne overfor frost og tø (48 V 1.).

Bestemmelse af stens termiske udvidelseskoefficient

Ved den ovenfor omtalte forsøgsrække blev stenenes udvidelseskoefficient bestemt ved følgende metode, som er standardiseret som normal fremgangsmåde ved alle den amerikanske hærs distriktslaboratorier.

Arrangement af prøvestykker med påklistede strain-gages på hylde, før de anbringes i en termostat, hvor temperaturen skifter mellem 35°F og 135°F .

Test pieces with pasted-on strain-gages arranged on a shelf, prior to their placing in a thermostat where the temperature varies between 35°F and 135°F .





Af stenmaterialet udskæres 3 prøvestykker ca. $5 \times 3 \times 1$ cm, der hver repræsenterer en hovedretning i stenen, som vist på figuren øverst side 31. På stenoverfladen fastklæbes 2 SR-4 deformationsmålere (strain gages) ved hjælp af Duco-cement. Prøvestykkerne monteres på en hylde, som vist nederst side 31, sammen med et kontrolprøvelegeme med kendt udvidelseskoefficient, f. eks. en kvartskrystal, hvis specifikke udvidelseskoefficient parallelt med C-aksen regnes at være $7,7 \times 10^{-6}$ pr. °C. Hyllden anbringes i en termostat, der skifter mellem 35° F og 135° F. Når der i hver stilling er opnået temperaturligevægt, hvilket kontrolleres med termoelementer, bestemmes længdeændringerne ved successiv aflæsning af deformationsmålerne.

Resultaterne for de 3 retninger benyttes til dannelse af et middeltal for stenenes udvidelseskoefficient i alle retninger. Målingen gentages 10 gange.

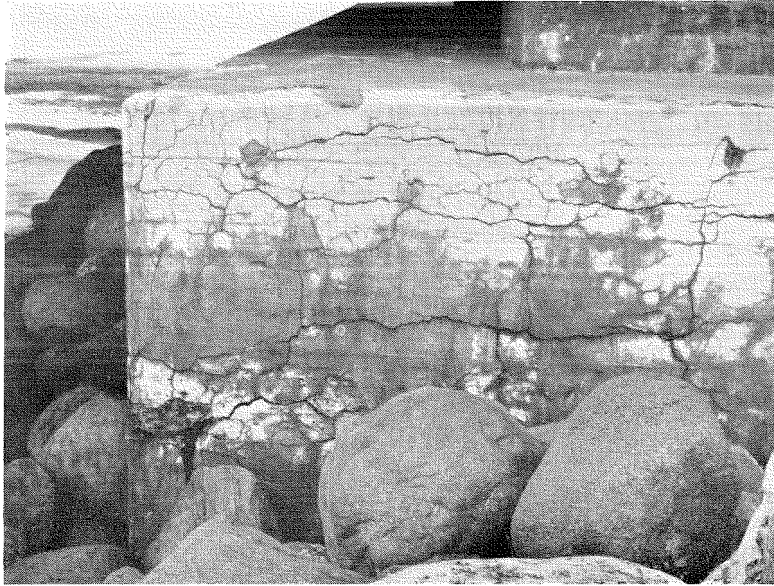
Den anvendte prøvemethode og de hidtil opnåede resultater er beskrevet i Bulletin nr. 34 (50 C 14).

Alkaligrus-reaktioner

Under opholdet i U.S.A. blev der lejlighed til at studere en særlig form for ødelæggelse af betonen, som måske populært kan kaldes alkalikræft. Eksempler på sådanne ødelæggelser er vist i den

nævnte rejserapport. De fremtræder som kraftige revnedannelser, der ligner dem, der er vist på billederne side 32 og 34. Forklaringen på denne form for ødelæggelse af betonen blev givet for ca. 10 år siden af Thomas Stanton, der havde iagttaget disse revner i mange bygværker i Californien på steder, hvor man med sikkerhed vidste, at de ikke kunne skyldes frost og tø.

Lignende iagttagelser er senere gjort andre steder i verden, f. eks. i Australien og Burma, og ved meget omfattende laboratoriearbejde har man fundet ud af, at ødelæggelserne optræder, når cementen indeholder mere end 0,6 % alkalier, og når gruset indeholder stenmaterialer med opløselig siliciumilte. Der dannes herved natriumsilikat eller vandglas på stenenes overflade, og disse vandglashinder tillader vandet at trænge ind, men ikke ud igen. Ved laboratorieforsøg har man herved kunnet opnå et tryk på 40 kg/cm², hvilket er tilstrækkeligt til at overvinde betonens trækstyrke, hvorved revnerne opstår. Det har vist sig at flintholdige kalksten kan reagere på denne måde, og blandt de særlig farlige stenarter kan nævnes opal og kalcedon. Det kan derfor ikke undre, at man under visse uheldige omstændigheder kan forvente lignende revnedan-



Revnedannelse i 13 år gammel betonpille, Nordjylland.

Cracks in 13 years old concrete pier, Northern Jutland.

nelser. Da den danske cement som regel er lav i alkaliindhold er det dog kun under ganske særlige omstændigheder, hvor alkaliene tilføres på anden måde, enten under støbningen ved anvendelse af havvand eller muligvis ved senere opslugning af alkali.

For de viste danske eksemplers vedkommende må man indtil videre formode, at skaderne kan

henføres til lignende reaktioner mellem cementen og gruset.

Man påtænker ved et samarbejde mellem Statens Byggeforskningsinstitut og Cementfabrikernes tekniske Oplysningskontor og en række andre interesserede parter at få disse forhold nærmere belyst ved laboratorieforsøg og studier i marken, og når resultatet foreligger, vil emnet blive behandlet mere detaljeret.

ENGLISH SUMMARY

The last few decades have brought improvements in the cement quality, the yield point of steel reinforcement, and the manufacture and handling of the concrete, which permit higher stresses and the use of slender concrete members. Strength and stability have been the governing factors in the design, and in Europe little attention has been paid to durability.

The figure on page 3 (top) shows the cumulative cement consumption in Denmark. On the assumption of an average lifetime of concrete structures of 50 years, the cumulative need of repairs and replacements is indicated by the dotted curve to the right.

The author points out that the durability should be studied as an independent factor, the generally accepted theory of relation between strength and durability not being justified.

Cement paste may be made durable by air-entrainment. The aggregate should be sound. On the basis of studies in the United States the author describes tests for soundness and gives an account of recent studies of thermal compatibility between aggregate and paste. A brief description of alkali-aggregate reactions is illustrated by photographs of Danish structures less than 15 years old with similar crack formations. A hypothesis to the effect that the damage is due to alkali-aggregate reactions is going to be checked by laboratory experiments and field studies as potentially reactive minerals, such as certain types of flint, are being commonly used as aggregate in Denmark.

LITTERATUR

- (46 P 4) Studies of the Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste. T. C. Powers and T. L. Brownyard. Proc. A. C. I. Detroit, December 1946. Vol. 43. Pages 469-504. (Part 3). With 34 references to literature. (Journal ACI. Vol. 18. No. 4).
- (47 P 4) Studies of the Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste. Part. 8. The Freezing of Water in Hardened Portland Cement Paste. Part 9. General Summary of Findings on the Properties of Hardened Portland Cement Paste. T. C. Powers and T. L. Brownyard. Proc. A. C. I. Detroit, April 1947. Vol. 43. Pages 933-992. With 12 references to literature page 969. (Part. 8).
- (48 V 1) Nouvelles Recherches sur la Gélivité des Bétons. M. Valenta. Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics. Paris, May 1948. No. 22 Béton. Béton Armé, nr. 3. Nouvelle Serie. 55 Pages. With 14 references to literature.
- (50 C 14) The Relation of Thermal Expansion of Aggregates to the Durability of Concrete. Edwin I. Callan. Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, U.S. Army. Bulletin No. 34. Vicksburg, Mississippi, February 1950. 8 fig., 6 tables and 11 references to literature.
- (51 W 6) Harold S. Sweet and Thomas Whiteside. Proc. Highway Research Board 1950 pag. 204.
- (CRD-C 114-48) Method of Test for Soundness of Aggregates by Freezing and Thawing of Standard Concrete Specimens. Handbook for Concrete and Cement, August 1949. Corps of Engineers, U.S. Army. Vicksburg, Mississippi.

Trykt i
Det Berlingske Bogtrykkeri
København

(fortsat fra omslagets 2. side)

(Studier)

Nr. 3: *The Predetermination of Water Requirement and Optimum Grading of Concrete under Various Conditions*, Niels M. Plum. 1950. 96 s. A₄. Kr. 15,—.

Nr. 7: *Betonteknologiske studier i U. S. A.*, Poul Nerenst. 1952. 88 s. A₅. Udenrigsministeriets serie: Teknisk bistand under Marshallplanen. Høst & Søn. Kr. 7,—.

Anvisninger

er praktiske vejledninger, beregnet på direkte brug i det daglige arbejde ved projektering, fabrikation eller byggeri. De kan være udfærdiget dels på grundlag af Institutets egne arbejder, dels ud fra andres undersøgelser fra ind- eller udland. De søges tilpasset efter de stedlige og aktuelle forhold og holdt i en ikke-videnskabelig udtryksform, tilgængelig for de pågældende faglige kredse.

Nr. 2: *Foreløbig vejledning i betonstøbning om vinteren*, udarbejdet af Dansk Ingeniørforenings arbejdsgruppe for beton og jernbeton. 1948. 83 s. A₅. Kr. 4,—.

Nr. 3: *Akustisk regulering af gymnastiksale*, Poul Becher. 1950. 4 s. A₄. Kr. 1,—.

Nr. 5: *Bedre varmeisolering er billigere*. 1950. 47 s. A₄. Kr. 3,—.

Nr. 6: *Fugt i nye huse* (plakat til ophængning). 1949. A₄. Kr. 5,— pr. 100 expl.

Nr. 7: *Fugt og isolering*, Poul Becher og Vagn Korsgaard. 1951. 107 s. A₅. Kr. 4,—.

Nr. 8: *Brug og valg af betonblandere*, Niels H. Krarup og K. Malmstedt-Andersen. 1951. 66 s. A₅. Kr. 3,00.

Nr. 9: *Vinterbyggeriets ABC*. 2. udg. 1950. 24 s. A₅. 1 stk.: 50 øre, 15 stk.: kr. 5,—, 100 stk.: kr. 25,—.

Nr. 10: *Kunstig belysning på byggepladser*. 1951. 14 s. A₄. Kr. 2,—.

Nr. 11: *Omsætningsmål for trædimensioner* (under forberedelse).

Nr. 12: *Valg af dæk*, Fleming Nielsen. 1952. 48 s. A₅. Kr. 2,—.

Særtryk

af artikler i tidsskrifter o. lign., omhandlende Institutets arbejde eller forfattet af Institutet eller dets medarbejdere. Enhedspris for alle særtryk: kr. 1,—.

Nr. 1: *Økonomisk varmeisolering, en kortfattet oversigt*, Poul Becher. 1949. 9 s. A₄.

Nr. 2: *Byggestandardisering*, Mogens Voltelen. 1949. 6 s. A₄.

Nr. 7: *Vinterbyggeri i en provinsby og vinterbyggeri på landet*, Asger Schmelling. *Vinterbyggeri i Stockholm*, O. Gerner Hansen. 1950. 12 s. A₄.

Nr. 8: *Er vore bygninger rationelt dimensionerede, når hensyn tages til såvel anlægs- som driftsomkostninger?*, Niels M. Plum. 1950. 9 s. A₄.

* Nr. 9: *Betonegenskabernes afhængighed af materialernes sammensætning*, Niels M. Plum. 1950. 45 s. A₅.

Nr. 10: *Varmetabet gennem plane tværdelte vægge*, Poul Becher. 1950. 8 s. A₄.

(fortsættes på bagsiden)

(fortsat fra omslagets 3. side)

(Særtryk)

- Nr. 11: *Om anvendelse af lydastighed i beton til bestemmelse af dens øvrige egenskaber*, Johs. Andersen og Poul Nerenst. 1950. 28 s. A₅.
- Nr. 12: *Varmekilder til vinterbyggeri*, Poul Gunst Hansen. 1950. 4 s. A₄.
- Nr. 13: *Hvad koster vinterbyggeri?* Asger Schmelling. 1950. 4 s. A₄.
- Nr. 14: *Elektrisk frostsikring af intermistiske vandledninger på byggepladser*, Poul Gunst Hansen. 1950. 2 s. A₄.
- Nr. 15: *Støbning af simple betonkonstruktioner om vinteren*, Poul Nerenst og Niels M. Plum. 1950. 6 s. A₄.
- Nr. 16: *Kunstig udtørring af nybygninger*, Vagn Korsgaard. 1950. 11 s. A₅.
- Nr. 17: *Prøvning af 11 danske betonblandere*, Per Bredsdorff, Poul Nerenst og Niels M. Plum. 1951. 56 s. A₅.
- Nr. 18: *Beregning af staldes varmeisolering og ventilering*, Vagn Korsgaard. 1951. 12 s. A₄.
- Nr. 21: *Stålstilladser til husbygning*, Niels M. Plum. 1951. 13 s. A₅.
- Nr. 22: *Some Two-Dimensional Heat-Flow Problems*, Neville S. Billington and Poul Becher. 1951. 16 s. A₅.
- Nr. 23: *Ekspansions- og sikkerhedssystemer ved centralvarmeanlæg med pumpecirkulation*, Poul Becher. 1951. 12 s. A₅.
- Nr. 24: *Varmeisolering og ventilering af svinestalde*, Vagn Korsgaard. 1951. 4 s. A₄.
- Nr. 25: *Nye ensilagesiloers beskyttelse mod syreangreb*, Lars Andersen. 1951. 3 s. A₅.
- Nr. 26: *Vinterbyggeri, beretning om et uheld*, O. Gerner Hansen. 1951. 12 s. A₅.
- Nr. 27: *Har vinterbyggeriet formindsket byggefagenes sæsonledighed?*, Lars Andersen. 1951. 6 s. A₄.
- Nr. 28: *Grusets indflydelse på betonens holdbarhed*, Poul Nerenst. 1952. 15 s. A₅.

Årsberetninger 1947—51.

om Institutets virksomhed og administration nr. 1, 2, 3 og 4. Enhedspris for alle årsberetninger: kr. 2,—.

Alle publikationerne kan købes gennem boghandlerne eller hos Teknisk Forlag, Vester Farimagsgade 31, København V.

Abonnement på en eller flere serier kan tegnes hos Teknisk Forlag. Her ved opnås 25 % rabat, som fradrages, når betalingen opkræves ved hvert års udløb. For kr. 2,— om året kan man endvidere samme sted abonnere på de »Forhåndsmeddelelser«, som udsendes ca. 3 uger før hver publikations fremkomst.

PRIS KR. 1,—