

Lang-tids studier af betons holdbarhed

NIELS MUNK PLUM

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

ex. 5

00810 P

20 JULI 1988

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT SÆRTRYK NR. 38

I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG KØBENHAVN 1953

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 udøve 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 Institutet.

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. 7: *Dæk og huse*, Niels M. Plum. 1. del: Tekst, 178 s. 2. del: Figurer, 46 s. 1952 A₄. Kr. 20,—.

Nr. 10: *Trommelyd, undersøgelse over støj fra gulve*, F. Larris. 1952. 28 s. A₅. Kr. 2,50.

Nr. 11: *Mørteltilsætningsstoffer til brug ved vinterbyggeri*, Henry Dührkop. 1953. 40 s. A₄. Kr. 3,—.

Studier

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

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,—.

Nr. 8: *Gode og dårlige løsninger af lydtekniske problemer inden for byggeriet*, Fritz Ingerslev. 1952. 14 s. A₄. Kr. 3,—.

Særtryk af
»BETON & JERNBETON«
1953, nr. 5.

UDC 666.972.1 : 690.594

Lang-tids studier af betons holdbarhed

NIELS MUNK PLUM
CIVILINGENIØR, M. ING. F.

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT SÆRTRYK NR. 38

I KOMMISSION HOS

TEKNISK FORLAG

KØBENHAVN 1953

LANG-TIDS STUDIER AF BETONS HOLDBARHED

Civilingeniør Niels Munk Plum.

INDLEDNING.

På grund af det stadig stigende antal skader på betonkonstruktioner, der efterhånden var ved at antage et næsten faretruende omfang, påbegyndte den amerikanske Portland Cement Association i 1940 en langtidsundersøgelse af betons holdbarhed for om muligt at finde frem til årsagerne til skaderne med særlig henblik på cementkvalitetens betydning.

Undersøgelsen skete i et omfang, der for den hjemlige forskning må forekomme næsten ufatteligt, idet der alene til tilrettelæggelsen og starten anvendtes ikke mindre end 350.000 \$ og er vel et udtryk for den betydning, man — og ikke mindst cementindustrien — tillægger spørgsmålet: betons holdbarhed.

Det er endvidere bemærkelsesværdigt, at undersøgelserne praktisk taget ikke omfattede laboratorieforsøg, fordi man efterhånden har erkendt svaghederne ved de såkaldte »accelerede« forsøg, der skal efterligne vejrligets og visse kemikaliers virkninger.

»Prøvelegemerne«, der som regel var i næsten »naturlig størrelse«, omfattede:

1. betonveje i hårde, moderate og milde klimaer,
2. prøvelegemer i sulfatjord i mildt klima,
3. betonpæle i ferskvand og saltvand både i hårde og milde klimaer,
4. tynde betonplader udsat for hårde klimatiske påvirkninger, og endelig
5. konstruktioner i næsten fuld størrelse, der er samlet på særlige prøvearealer i hårde og milde klimaer.

Som det vil ses, er der konstruktioner i næsten alle forekommende almindelige udførelser udsat for meget vekslende klimatiske forhold. Til betonstøbningen anvendtes 21 forskellige slags cementklinker alle svarende til de amerikanske specifikationer, og endvidere iblandedes 6 af disse et luftporemiddel, således at der blev ialt 27 cementer. Grusmaterialerne toges i nærheden af støbestederne og er tilsammen nogenlunde repræsentative for forholdene i U. S. A.

De udstøbte konstruktioner har nu stået i 10 år, og en meget indgående besigtigelse er derfor blevet foretaget for om muligt allerede på dette tidspunkt

at finde frem til eventuelle forbindelser imellem cementens kvalitet og holdbarheden, og resultatet af denne foreløbige besigtigelse har netop været offentliggjort i »Journal of the American Concrete Institute«, marts 1953, hvorfra det følgende er gengivet.

Uanset at den samme cement er anvendt i mange forskellige forsøg, beskriver rapporten hver af de ovennævnte fem forsøgsgrupper for sig, og det vil være naturligt her at følge denne opdeling af stoffet.

BETONVEJENE.

Den første prøvestrækning udlagdes i nærheden af New York, og her anvendtes 24 af cementerne. For de ikke-luftindblandede betoners vedkommende har det trods ret forskellig revnedannelse endnu ikke været muligt at påvise nogen sammenhæng imellem cementtypen og beskadigelserne. Ingen af de betoner, hvortil der var sat luftindblandingsmiddel har vist beskadigelser. På den anden prøvestrækning (i nærheden), hvor der om vinteren anvendtes salt til fjernelse af isen, viste en sammenligning mellem beton af de 6 luftindblandede cementer og de 6 tilsvarende cementer uden luftindblanding, at medens der ingen beskadigelser var ved den luftindblandede beton, var der afskalning af alle de 24 plader, hvor der var anvendt almindelig beton.

Fra betonvejene i de mildere klimaer foreligger der endnu ikke resultater, der muliggør lokalisering af årsagerne til de endnu kun ubetydelige skader.

PRØVELEGEMER I SULFATHOLDIG JORD.

Der har tidligere været udført mange laboratorieforsøg med sulfatangreb på beton, men udvalget har ikke følt sig overbevist om, at resultaterne gengav forholdene i virkeligheden, og man bestemte sig derfor til at udlægge prøver i sulfatholdig jord, således at prøverne stak halvt op af jorden, der blev vekselvis vandet og udtørret.

Det nu foreliggende resultat af disse forsøg er først og fremmest, at prøvelegemer der er støbt af fede betonblandinger er mere modstandsdygtige overfor sulfatangreb end magre blandinger, hvilket tilskrives de sidstes mindre tæthed. Eksempelvis kan nævnes, at de fedeste betoner efter 7 års forløb var i bedre stand end de magre efter 2 års forløb.

Nærmere undersøgelser bekræftede iøvrigt, at når det beregnede indhold af trikaliumaluminat formindskedes, steg betonens modstandsdygtighed. Det ser på nuværende tidspunkt ud til, at skellet mellem god og dårlig modstandsdygtighed ligger ved cirka 7 % trikaliumaluminat.

Et tilsvarende klart skel har endnu ikke kunnet findes imellem god og meget god modstandsdygtighed.

Også de prøvelegemer, hvor der er anvendt luftindblandet cement, er blevet angrebet af den sulfatholdige jord, men i næsten alle tilfælde har de luftindblandede prøvelegemer været længere end de ikke-luftindblandede. Komiteen gør i denne forbindelse opmærksom på, at det luftindhold, der har været an-

vendt, er mindre end det, man idag anser for at være det rigtige, og man har derfor iværksat en ny forsøgsrække for nærmere at undersøge forholdene.

BETONPÆLE.

Samtlige pæle blev udført således, at der er 2,5 cm beton uden på jernene, men dette beskyttelseslag viste sig overalt, hvor pælene stod i saltvand, at være utilstrækkeligt, idet man over daglig vande kan se rustdannelser på betonoverfladen ud for jernene. I ferskvand kan der endnu ikke iagttages rustdannelser udenpå pælene.

Bortset fra disse rustdannelser er der endnu kun sket kraftig beskadigelse af pælene på den nordligste forsøgsstation, hvor pælene står i havvand og er udsat for hyppige vekslinger mellem frost og tø. Flere af pælene her, med et cementindhold på ca. 300 kg/m³ er næsten fuldstændigt forvitrede, medens pæle med et indhold på 400 kg/m³ endnu ser nogenlunde ud.

For de ikke-luftindblandede betoners vedkommende har der endnu ikke kunnet påvises nogen sammenhæng mellem cementens kemiske sammenhæng, finhed o. lign. og holdbarheden. De luftindblandede betoner havde alle større modstandsevne end de tilsvarende ikke-luftindblandede, men deres evne til at forhindre den ovennævnte rustdannelse var ikke forbedret.

TYNDE BETONPLADER.

Disse betonplader var opsat som rækværk langs bjergveje i 2.500 m's højde. I løbet af de første tre år viste en del af dem, der ikke indeholdt luftindblanding, tegn på beskadigelse, og i løbet af endnu to år udviklede der sig en hel del revner. Målinger af resonansfrekvensen understøttede indtrykket af, at betonens fuldstændige ødelæggelse var nært forestående, men ikke destomindre har pladerne i de sidste fem år ikke vist ændringer af betydning.

En nærmere undersøgelse af de beskadigede plader med ikke-luftindblandet cement viser, at det fortrinsvis er de langsomt hærdnende cementer, der er blevet beskadiget. Pladerne blev udstøbt sent på efteråret, og udvalget konkluderer, at disse plader derfor ikke har haft den fornødne tid, før de blev udsat for vekslende frost og tø. Øjensynlig har betonen nået at komme til kræfter i de første somre. Ingen af de luftindblandede betoner har vist nogen form for beskadigelser.

KONSTRUKTIONER I NÆSTEN FULD STØRRELSE.

Konstruktionerne omfattede plader på jorden, støttemure, kar og piller, og de var samlet på to prøvearealer, dels ved Chicago, hvor påvirkningen er svær og dels i Georgia, hvor klimaet er mildt. I Georgia er der endnu ikke så store forskelle, at der har kunnet drages konklusioner. Ved Chicago derimod er der iagttaget alvorlige ødelæggelser på tre hold prøvelegemer med alle 27 cementsorter. Disse hold var alle udført med beton, der har 20 cm sætmål. I det ene af de tre hold var der anvendt godt grus, i de to andre grus, der var kendt for at være dårligt, uden at det nærmere angives på hvilken måde.

Blandt de ødelagte betoner har man fundet, at cement af type II (Modified*) og type IV (Low-heat*) har klaret sig noget bedre end type I (Standard*), hvilket altså ikke helt stemmer med resultaterne fra forsøgene med de tynde plader. Resultaterne med type III (Rapid*) og type V (Sulfate-resisting*) er ikke tilstrækkeligt omfattende til at tillade klassifikation.

I modsætning til de nævnte forholdsvis små forskelle mellem cementtyperne er resultaterne ved overgangen til luftindblandede cementer påfaldende, idet disse prøvelegemer alle er praktisk taget ubeskadigede.

SLUTNING.

Udvalget understreger selv, at konstruktionernes kun 10-årige levetid ikke er tilstrækkelig til, at man kan drage endelige konklusioner, men man har på den anden side fundet det betydningsfuldt allerede nu at underrette offentligheden om de hidtil klart påviselige forhold. Inspektionerne vil blive fortsat en længere årrække.

Det samlede resultat af alle undersøgelserne kan resumeres således:

1. Den hidtil almindelige tro på at cementens sammensætning og finhed skulle have afgørende indflydelse på betonens holdbarhed har på det foreliggende grundlag indtil videre ikke kunnet bekræftes, og udvalget synes tilbøjelig til at konkludere, at en sådan sammenhæng derfor ikke skulle eksistere.
Denne konklusion er dog antageligvis forhastet, da det jo ikke er ualmindeligt, at bygværker holder sig godt i en halv snes år for først derefter at nedbrydes, og endvidere skal det bemærkes, at samtlige de undersøgte cementer, ihvorvel de er forholdsvis forskellige, alle ligger indenfor de amerikanske specifikations rammer, og man kan ikke lade være at beklage, at udvalget ikke har benyttet denne oplagte chance til at vove sig væsentligt udenfor det traditionelle for på denne måde at nå frem til en mere uortodoks belysning af spørgsmålet.
2. I de tilfælde, hvor betonen hurtigt efter udstøbningen udsattes for vekslen mellem frost og tøj, har anvendelsen af ikke-hurtighærdnende cement vist sig uheldig, og under sådanne forhold bør man derfor anvende cement, der i kraft af særlig kemisk sammensætning eller finhed er hurtighærdnende.
Denne erfaring stemmer nøje med de vinterbyggeri-forsøg, der herhjemme er udført bl. a. på Byggeforskningsinstituttets initiativ, og på grund af vinterbetonstøbnings stadig stigende udbredelse er der grund til at understrege den.
3. Betonens modstand imod sulfatangreb stiger med faldende indhold af trikalciumpulminat.
4. Gennem forsøgene går som en rød tråd, at anvendelsen af luftindblan-

ding har langt større virkninger end alle de øvrige undersøgte variable, og i alle tilfælde er der fundet betydelige forbedringer af holdbarheden ved anvendelse af luftindblanding.

Udvalget gør udtrykkeligt opmærksom på, at denne forbedring endog gælder betoner med stort sætmål og lavt cementindhold, uden at man af den grund dog skal tro, at anvendelsen af luftindblandingsmidler overflødiggør omhu ved valg af grus, proportionering og udstøbning. Der er god grund til at hefte sig ved denne omfattende og sikre konstatering af luftindblandingsmidlernes alsidige succes.

Luftindblandingen er jo hidtil blevet betragtet med nogen skepsis herhjemme, men man kan vel håbe, at disse resultater vil virke så overbevisende, at vejen nu er banet blandt andet for anvendelsen af luftindblanding til vinterbetonstøbning. Endvidere er resultaterne den bedst tænkelige baggrund for den vejledning i anvendelse af luftindblandingsmidler, som DIF's betonsektion om kort tid udsender.

5. Undersøgelsen beskæftiger sig ikke med spørgsmålet om eventuelle kemiske reaktioner imellem cementens fri alkaliindhold og opal eller lignende i gruset, der kan virke ødelæggende på holdbarheden, idet disse forhold ikke var tilstrækkeligt kendt ved forsøgenes tilrettelæggelse.

Udvalget ender sin beretning med følgende betragtninger, som jeg gerne vil citere ordret:

»Det var hovedhensigten med forsøgene at undersøge virkningen af cementens sammensætning, finhed eller fabriktionsmetode på betonens egenskaber. Det har vist sig, at betonens egenskaber ikke kan udtrykkes eller forstås alene ud fra disse forhold, og at de traditionelle metoder til prøvning og analyse af cement er utilstrækkelige til vurdering af betonens egenskaber.

Der er grund til at antage, at endnu ikke kendte fysiske og fysisk-kemiske forhold spiller en meget væsentlig rolle for cementens virkning på betons holdbarhed. Udvalget anbefaler derfor, at undersøgelsen fortsætter, og at der lægges særlig vægt på cementens og mørtelens »fundamentale« egenskaber. Finder man frem til disse »fundamentale« forhold, vil man muligvis have tilstrækkelig viden til at forklare endnu uforståelige forhold.«

*) Nærmere oplysninger om disse cementer kan findes f. eks. i: P. Skjoldborg: Cement og betonkemi, Beton II, 1950, side 49—78.

(Studier)

Nr. 9: *Hvilken murstens- og blokstørrelse kræver mindst arbejdstid ved opmuringen?*, Niels M. Plum og Birger Warris. 1952. 26 s. A₄. Kr. 3,—.

Nr. 10: *Fejl og mangler ved sanitære installationer i bolig- og fabriksbyggeriet*, Ewald A. Olsen. 1953. 21 s. A₄. Kr. 3,—.

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 Institutts 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. 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,—.

Nr. 10: *Kunstig belysning på byggepladser*, Jens Thorsen og Mogens Voltelen. 1953. 2. udgave. 20 s. A₅. Kr. 2,—.

Nr. 11: *Omsætningsmål for trædimensioner*. 1952. 1 s. A₄. (Gratis).

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

Nr. 13: *Byggeprisens bestanddele beregnet ved et 3-etagers boligbyggeri i provinsen i april 1951*. 1952. 28 s. A₅. Kr. 2,—.

Nr. 14: *Forbedring af stalde, varmeisolering og ventilering*, Poul Becher og Vagn Korsgaard. 1952. 44 s. A₅. Kr. 2,—.

Nr. 17: *Betonstøbning om vinteren*, Poul Nerenst, Erik Rastrup og G. M. Idorn. 1953. 108 s. A₅. Kr. 8,—.

Nr. 18: *Maling af eternit*. 1953. 15 s. A₅. Kr. 1,50.

Nr. 23: *Vinterbyggeri*. 1953. 16 s. A₅. 1 stk.: kr. 1,—. 100 stk.: kr. 50,—.

Særtryk

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

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. 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.

Nr. 11: *Om anvendelse af lyd hastighed i beton til bestemmelse af dens øvrige egenskaber*, Johs. Andersen og Poul Nerenst. 1950. 28 s. A₅.

Nr. 13: *Hvad koster vinterbyggeri?*, Asger Schmelling. 1950. 4 s. A₄.

(Særtryk)

- Nr. 14: *Elektrisk frostsikring af interimistiske vandledninger på byggepladser*, Poul Gunst Hansen. 1950. 2 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. 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. 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. A₄.
- Nr. 29: *Wave Velocity in Concrete*, Johannes Andersen and Poul Nerenst. 1952. 23 s.
- Nr. 30: *Kunstig udtørring af nybygninger ved hjælp af Schwartzkopf-ovne*, H. Dührkop og Hans Nielsen. 1952. 8 s. A₄.
- Nr. 31: *Ensilagesiloers beskyttelse mod syreangreb, 2. undersøgelse 1951—52*, Erik Laur- sen. 1952. 5 s. A₅.
- Nr. 32: *Betonkontrol*, Niels Munk Plum. 1953. 81 s. A₅.
- Nr. 33: *Små skorstene*, Poul Becher. 1953. 12 s. A₅.
- Nr. 34: *Træfri gulvbelægninger*. 1953. 56 s. A₅.
- Nr. 35: *Quality Control of Concrete — Its Rational Basis and Economic Aspects*, Niels Munk Plum. 1953. 26 s. 21,5 × 14 cm.
- Nr. 36: *Varmøkonomiske undersøgelser i »Pileparken 2« 1950-52*, J. L. Mansa. 1953. 10 s. A₄.
- Nr. 37: *Beton-Rapport-Blanketter*, Niels Munk Plum. 1953. 17 s. A₅.
- Nr. 38: *Lang-tids studier af betons holdbarhed*, Niels Munk Plum. 1953. 5 s. A₅.

Årsberetninger 1947—52

om Institutets virksomhed og administration nr. 1, 2, 3, 4 og 5. 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.—.