

13 betonsygdomme

Hvordan de opstår, forløber og forebygges

ATV-UDVALGET VEDRØRENDE BETONBYGVÆRKERS HOLDBARHED
BETON 4 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1985



13 betonsygdomme

Hvordan de opstår, forløber og forebygges

ERVIN POULSEN med flere

Beton. I denne serie udsendes orienterende og vejledende publikationer om betonteknologi og betonbyggeri med henblik på forebyggelse/reparation af skader. Serien Beton udgives i samarbejde med ATV-udvalget vedrørende betonbygværkers holdbarhed.

SBI-publikationer. Statens Byggeforskningsinstituts publikationsserier er i øvrigt: Anvisninger, Meddelelser, Nomogrammer, Pjecer, Rapporter, Særtryk, Ydeevnebeskrivelser samt Byplanlægning og Landbrugsbyggeri. Salg sker gennem boghandelen eller direkte fra SBI. Institutets publikationsliste og årsberetning er gratis og kan rekvireres fra SBI.

SBI-abonnement. Institutets publikationer kan foruden ved løskøb fås via et abonnement, som desuden sikrer abonnenterne løbende orientering om alle nye SBI-udgivelser. Oplysning om de forskellige abonnements omfang fås hos SBI.

ISBN 87-563-0583-4.

ISSN 0109-1263.

Pris: 91,50 kr. inkl. 22 pct. moms.

Oplag: 3000.

Tryk: Dyva Bogtryk, Glostrup.

Tegninger: Helle Vestergaard.

Fotos: Ervin Poulsen.

Omslag: Henning Holmsted.

Statens Byggeforskningsinstitut:

Postboks 119, 2970 Hørsholm. Telefon 02-86 55 33.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:

Beton 4: 13 betonsygdomme, 1985.

Indhold

Forord	8
Indledning	10
- Styrke sikrer ikke holdbarhed, 10	
- Betonkvalitet, hvad er det?, 12	
- Miljøpåvirkning, 13	
- Udførelse og kontrol, 15	
- Prøvningsmetoder, 16	
- Hvorfor denne publikation?, 17	
- Hvad står der i publikationen?, 18	
- Hvad ved vi ikke?, 20	
- Litteratur, 20	
Nedbrydningens fysik og kemi	21
- Nedbrydnings typer, 21	
- Vands betydning for betons nedbrydning, 23	
- Samspil mellem flere nedbrydningsårsager, 23	
- Betons gennemtrængelighed, 24	
■ Alkalireaktioner	27
<i>Alkalikiselreaktion, 27</i>	
- Betingelser for skadelig reaktion, 27	
- Alkalireaktive bjergarter, 28	
- Betons alkaliindhold, 30	
- Fugtighed, 34	
- Betydende parametre, 35	
- Indhold af alkalireaktive partikler, 38	
- Flints kornstørrelse, 39	
- Betons alkaliindhold, 40	
- Puzzolantilsætning, 40	
- Stenfraktionens indflydelse, 41	
- Målemetoder, 42	
- Forholdsregler imod alkalikiselreaktion, 43	
<i>Alkalicarbonatreaktion, 48</i>	
- Betingelser for reaktion, 49	
- Reaktion, 49	
- Betydende parametre, 49	
- Skadebillede, 50	
- Målemetoder, 50	
- Forholdsregler imod alkalicarbonatreaktion, 51	
- Litteratur, 51	

■ Carbonatisering	54
- Carbonatiseringsproces, 54	
- Målemetoder for carbonatiseringsdybder, 62	
- Forholdsregler imod carbonatisering, 64	
- Målemetoder for overfladebehandlinger, 74	
- Litteratur, 76	
■ Chloridindtrængning	77
- Chloridkilder, 77	
- Chloridoptagelse, 79	
- Mål for chloridindhold, 81	
- Kritisk chloridindhold, 82	
- Chloridindtrængning, 84	
- Skadekriterier, 89	
- Målemetoder, 91	
- Forholdsregler imod chloridoptagelse, 92	
- Litteratur, 94	
■ Frost/tø-angreb	95
- Frostskaudemekanisme, 95	
- Fordeling af luftbobler, 98	
- Frostskaidekriterier, 104	
- Målemetoder, 106	
- Forholdsregler imod frost/tø-angreb, 109	
- Litteratur, 112	
■ Hærdevarme	113
- Modenhed, 113	
- Termoskader, 113	
- Forholdsregler imod termorevner, 115	
- Litteratur, 120	
■ Instabilitet hos frisk beton	121
- Stenseparation, 121	
- Vandseparation, 123	
■ Krybning	126
- Krybningens parametre, 126	
- Bygningsmæssige problemer, 131	
- Litteratur, 132	
■ Nitratangreb	133
- Forholdsregler imod nitratangreb, 133	
■ Organisk nedbrydning	134

■ Rustdannelse	138
- Carboniseret beton, 138	
- Chloridholdig beton, 144	
- Revnet beton, 146	
- Litteratur, 148	
■ Sulfatangreb.....	149
- Sulfatangrebets kemi, 149	
- Forholdsregler imod sulfatangreb, 153	
- Litteratur, 154	
■ Svind.....	156
<i>Plastisk svind, 156</i>	
- Betydende parametre, 156	
- Forholdsregler imod plastisk svind, 158	
<i>Udtørringssvind, 160</i>	
- Forholdsregler imod udtørringssvind, 167	
- Litteratur, 168	
■ Syreangreb	169
- Syreangrebets kemi, 169	
- Forholdsregler imod syreangreb, 172	
- Litteratur, 173	
Bilag. Diffusionsteori.....	174
- Fick's første lov, 174	
- Fick's anden lov, 176	
- Randbetingelser, 177	
- Diffusion i beton, 177	
- Litteratur, 178	
Bilag. Sikkerhed mod nedbrydning.....	179
- Proportioneringsproblem, 180	
- Involverede parters risici, 182	
- Proportioneringsprocedure, 185	
- Fra krav til blandingsforhold, 191	
- Litteratur, 192	

Forord

Holdbarheden af udendørs beton i Danmark har i mange tilfælde ikke svaret til de forventninger, som bygherrer, entreprenører, betonproducenter og projekterende arkitekter/ingeniører har haft.

I maj 1982 er der derfor under Akademiet for de tekniske Videnskaber, ATV, nedsat et udvalg vedrørende betonbygværkers holdbarhed. Udvalgets overordnede målsætning er at etablere et blivende indsatsmønster mellem alle betonsektorens parter inden for følgende områder:

- Eftersyn, vedligeholdelse og reparation af eksisterende bygværker i beton (afværgende indsats),
- Kvalitetsstyring med henblik på fremtidige betonbygværkers holdbarhedsegenskaber (forebyggende indsats),

således at man i et samarbejde kan *sikre vedligeholdelsen* af eksisterende bygværker i beton, *højne kvaliteten* af udførte betonbygværker og *fremme udviklingen* af konkurrencedygtige produkter og ydelser på betonområdet.

Udvalget ønsker med Beton 4 dels at give en teknisk begrundet oversigt over de forhold, der er medvirkende til nedbrydningen af beton, dels at belyse de kriterier, der kan forbedre holdbarheden af den udendørs beton. Med en sådan viden er det muligt at forsinke nedbrydningen tilstrækkelig længe til at undgå kritiske skader i betonbygningens stipulerede funktionstid. Publikationen giver læseren mulighed for selv at formulere skærpede krav til beton og betons delmaterialer, hvor det skønnes påkrævet.

Bogen henvender sig til projekterende, producerende, udførende og tilsynsførende inden for betonområdet. Der er tilstræbt samme informationsniveau som i (den nu udsolgte) SBI-anvisning 27 fra 1956: *Vejledning i betonkontrol* og i Alkaliudvalgets vejledning 1: *Foreløbig vejledning i forebyggelse af skadelige alkalikiselreaktioner i beton* fra 1961.

Publikationen er udarbejdet af civilingeniør *Bent Andersen*, AEC; civilingeniør, lic.techn. *Finn Bach*, Kunstakademiets Arkitektskole, geolog, mag.scient. *Jørn Bredal-Jørgensen*, AEC; civilingeniør *Henrik Mørup*, AEC, og ingeniørdocent *Ervin Poulsen*, DIA-B, med bistand af en støttegruppe bestående af overingeniør *Hans-Henrik Gotfredsen*; civilingeniør *Frits Otto Grønvold*; civilingeniør *Chr. F. Justesen*; direktør, arkitekt *Marius Kjeldsen*; direktør, civilingeniør *Poul Nerenst* og akademiingeniør *Niels Thaulow*.

Civilingeniør *Peter Mogensen* har forestået redaktionen i samarbejde med civilingeniør *H. H. Knutsson* og afdelingsleder *Jørgen Nielsen*.

Fra Christiani & Nielsen A/S er der modtaget information om boremuslingers angreb på beton. Civilingeniør *Gunnar Mohr*, DIA-B, har opstillet grundlaget for proportionering af beton, hvor der er stillet andre krav til betonegenskaber end til styrken. Kapitlet om carbonatisering er et ekstrakt af en rapport, udarbejdet af Ervin Poulsen til Larsen & Nielsen Fondet.

SBI, anvisningens forfattere og støttegruppen håber, at BETON 4 opfylder behovet for en teknisk begrundet oversigt over de forhold, der er medvirkende til nedbrydning af beton. Ved at sikre imod overskridelse af nedbrydningskriterierne for beton, sådan som det er beskrevet i publikationen, kan man forbedre holdbarheden af udendørs beton i Danmark.

Udarbejdelsen af publikationen er finansieret af Teknologirådet og SBI.

Gunnar P. Rosendahl
Formand for ATV-udvalget

Hans Jørgen Larsen
Statens Byggeforskningsinstitut

Juni 1985