



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

**Aalborg Universitet**

## **Betonkrav og praksis**

*Normer, forskrifter, dokumenter og faglitteratur 1888-1988 i uddrag til brug i skadesager vedr. betonkonstruktioner*

Poulsen, E.

*Publication date:*  
1989

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Poulsen, E. (1989). *Betonkrav og praksis: Normer, forskrifter, dokumenter og faglitteratur 1888-1988 i uddrag til brug i skadesager vedr. betonkonstruktioner*. SBI forlag. Beton Nr. 6

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Betonkrav og -praksis



Normer, forskrifter, dokumenter og faglitteratur 1888-1988  
i uddrag til brug i skadesager vedr. betonkonstruktioner

**BETON 6 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1989**





**Beton.** I denne serie udsendes orienterende og vejledende publikationer om betontechnologi og betonkonstruktioner. Beton 1-5 blev udgivet i samarbejde med ATV-udvalget vedrørende betonbygværkers holdbarhed.

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

**SBI-abonnement.** Instituttets 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 87-563-0709-8.

ISSN 0109-1263.

Pris: 244,00 kr. inkl. 22 pct. moms.

Oplag: 2.000.

Tryk: Dyva Bogtryk, Glostrup.

Fotos: Ervin Poulsen.

Omslag og grafisk tilrettelægning: Peter Mogensen.

Statens Byggeforskningsinstitut:

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

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:

*Beton 6: Betonkrav og -praksis, 1989.*

# Betonkrav og -praksis

Normer, forskrifter, dokumenter og faglitteratur 1888–1988  
i uddrag til brug i skadesager vedr. betonkonstruktioner

ERVIN POULSEN



BETON 6 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1989

# INDHOLD

FORORD .....	side	8
INDLEDNING .....	side	9
GEOMETRISKE FORHOLD .....	side	16
<b>Konstruktiv udformning</b> .....		<b>16</b>
Skademekanisme .....		17
Ydre geometriske forhold .....		17
Indre geometriske forhold .....		21
Elementbyggeri .....		24
Skader .....		26
<b>Dæklag</b> .....		<b>26</b>
Skademekanisme .....		28
Betonnormen 1908 .....		28
Husbygningsnormen 1916 .....		29
Betonnormen 1921 .....		29
Betonnormen 1926 .....		29
Betonnormen 1930 .....		31
Betonnormen 1943 .....		31
- Betonsammensætning, 32		
- Dæklagstykker, 33		
Betonnormen 1949 .....		34
- Betonsammensætning, 34		
- Dæklagstykker, 36		
Elementbyggeri .....		39
Normrevisionen 1959-73 .....		43
- Betonsammensætning, 44		
- Dæklagstykker, 45		
Betonnormen 1973 .....		46
- Betonsammensætning, 46		
- Dæklagstykker, 46		
- Miljøklasser, 49		
Betonnormen 1984 .....		50
- Betonsammensætning, 50		
- Dæklagstykker, 51		
- Miljøklasser, 51		
Basisbetonbeskrivelsen 1986 .....		52
- Betonsammensætning, 52		
- Dæklagstykker, 52		
- Miljøklasser, 52		

FORLIGELIGHED .....	side	54
<b>Alkalikiselreaktioner</b> .....		<b>55</b>
Skademekanisme .....		56
Statens Byggeforskningsinstitut og Alkaliudvalget .....		57
Alkaliudvalgets vejledning .....		57
- Konstant tørt, 58		
- Fugtig, fersk, 58		
- Fugtig, alkaliholdig, 58		
Normrevisionen 1959-73 .....		58
Betonnormen 1973 .....		63
Grusnormen 1977 .....		63
Betonnormen 1984 .....		64
Basisbetonbeskrivelsen 1986 .....		64
Aalborg Portland/CtO .....		66
Beton-Teknik 3/02/73 .....		66
Beton-Teknologi 1976 .....		67
Beton-Teknik 10/05/77 .....		68
Beton-Bogen 1979 .....		69
Beton-Teknik 1/05/82 .....		70
Beton-Bogen 1985 .....		70
CtOs lommebøger .....		71
BPS-centret .....		71
Konsulentvirksomhed .....		72
- Statens Byggeforskningsinstitut, 73		
- Cementfabrikkernes tekniske Oplysningskontor, 73		
- Teknologisk Institut, 73		
Lærebøger .....		75
- Beton II, DIA-B, 75		
- Vandbygning III, DTH, 75		
- Beton, tilslagsmaterialer, 76		
- Beton, DTH, 76		
Betonbeskrivelser .....		77
- Svømmebassin, 77		
- Husbygning, 77		
- Vejbro, 78		
De store broer .....		80
- Ny Lillebæltsbro, 80		
- Sallingsundbroen, 81		
- Vejle fjordsbroen, 82		
- Hadsundbroen, 82		
- Alssundbroen, 83		
- Farøbroerne, 84		
Skader .....		85
- Betonbelægning, 85		

<b>Chloridblanding</b> .....	<b>86</b>
Skademekanisme .....	87
Udviklingen i udlandet .....	88
Udviklingen i Danmark .....	89
Betonbeskrivelser .....	94
- Fælles betingelser og beskrivelse, oktober 1964, 94	
- Almindelig arbejdsbeskrivelse, november 1969, 94	
- Almindelig arbejdsbeskrivelse, november 1977, 95	
- Alssundbroen 1977, 95	
- Farøbroerne 1979, 95	
Betonskader .....	95
<b>Frostfarlige sten</b> .....	<b>96</b>
Skademekanisme .....	96
Betonnormen 1908 .....	96
Lærebøger .....	96
Normrevisioner og vandbygningsregler .....	97
Betonnormen 1943 .....	98
Betonnormen 1949 .....	98
Betonnormen 1973 .....	100
Grusnormen 1977 .....	101
<b>YDRE PÅVIRKNINGER</b> .....	<b>side 103</b>
<b>Carbonatisering</b> .....	<b>105</b>
Skademekanisme .....	106
Elementbyggeri .....	107
Standardcement .....	107
Sulfatbestandig cement .....	109
<b>Cloridindtrængning</b> .....	<b>109</b>
Skademekanisme .....	112
Sulfatbestandig cement .....	112
<b>Frostpåvirkning</b> .....	<b>114</b>
Skader .....	116
Skademekanisme .....	117
<b>REVNER</b> .....	<b>side 118</b>
Skademekanisme .....	118
<b>Lastfremkaldte revner</b> .....	<b>120</b>
Betonnormen 1908 .....	120
Betonnormen 1930 .....	121
Betonnormen 1949 .....	122
Elementbyggeri .....	124
Betonnormen 1973 .....	124
<b>Termorevner</b> .....	<b>126</b>
Betonnormen 1984 .....	127
<b>Skader</b> .....	<b>128</b>
Parkeringsdæk .....	128
Støttemur .....	129



MILJØÆNDRING .....	side 130
<b>Tøsaltning</b> .....	<b>130</b>
Skademekanisme .....	130
Betonnormen 1949 .....	130
Rapport fra Dansk Betonforening 1973 .....	132
Betonnormen 1973 .....	132
Betonnormen 1984 .....	133
Basisbetonbeskrivelsen 1986 .....	133
Skader .....	134
<b>Vedligehold</b> .....	<b>134</b>
Skademekanisme .....	135
 LITTERATUR .....	 side 136

## FORKORTELSER

AAB .... Almindelige arbejdsbetingelser	DBI ..... Dansk Beton Industriforening
ABK .... Afdelingen for bærende Konstruktioner, DTH	DIA-B .. Danmarks Ingeniørakademi, Bygningsafdelingen
ACI ..... American Concrete Institute	DIF ..... Dansk Ingeniørforening
APC .... Almindelig hærdnende portland- cement	DS ..... Dansk Standard
ASTM .. American Standard for Testing and Materials	DSB ..... Danske Statsbaner
ATV ..... Akademiet for de tekniske Videnskaber	DTH .... Danmarks Tekniske Højskole
BBB ..... Basisbetonbeskrivelsen	FBB ..... Fælles betingelser og beskrivelser
BEF ..... Betonelement-Foreningen	JT ..... Jysk Teknologisk
BEK ..... Betonelementkontrollen	JTI ..... Jydsk Teknologisk Institut
BFL ..... Betonforskningslaboratoriet, Karlstrup	NBF ..... Nordisk Betonforbund
BPS ..... Byggeriets Planlægningssystem	NBK .... Nordisk Betonkongres
BSE ..... The Bahrain Society of Engineers	NP ..... Normstyrelsens Publikation
C&CA .. Cement & Concrete Association	P&T ..... Post- og Telegrafvæsenet
CBI ..... Cement- og Betonginstituttet	RILEM.. Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions
CBL ..... Cement- og Betonlaboratoriet	RPC .... Hurtighærdnende portland- cement
CEB ..... Comité Euro-International du Béton	SAB ..... Særlige arbejdsbetingelser
CIRIA .. The Construction Industry Research and Information Association	SBI ..... Statens Byggeforskningsinstitut
CtO .... Cementcentralernes tekniske Oplysningskontor	SKT ..... Svind-Krybning-Temperatur
DBF ..... Dansk Betonforening	TI-B ..... Teknologisk Institut, Byggeteknik
	TI-O .... Teknologisk Institut, Overflade- teknik
	VD ..... Vejdirektoratet

Problemerne med betonbyggeri gennem de seneste 25 år er langt fra ukendte.

Omvendt er der mindre kendskab til den videnbaggrund og de normer og forskrifter, som har haft afgørende indflydelse på forløbet og udfaldet af de enkelte skadesager.

Kendskab til denne baggrund kan være til stor hjælp, når man skal behandle kommende problemer. Dette gælder både for bygherrer, rådgivere, entreprenører, betonleverandører og betonelementfabrikker.

Det har derfor været naturligt for Betonelement-Foreningen og Entreprenørforeningen at tage den opgave op, som består i at efterforske krav og specifikationer på betonområdet, først og fremmest med udgangspunkt i normerne fra 1949, 1973 og 1984, men også under hensyn til den righoldige faglitteratur, som har set dagens lys i perioden fra 50'erne og til nu. Formålet hermed er at hjælpe byggeriet med behandlingen af eventuelle kommende problemer.

De to foreninger anmodede Ervin Poulsen om at påtage sig opgaven på grund af hans store kendskab til emnet, både som rådgivende ingeniør og som deltager i udarbejdelsen af danske betonnormer gennem mere end et kvart århundrede.

Resultatet foreligger hermed, og det er vort håb, at arbejdet kan være en hjælp for byggeriets parter i fremtidige betonskadesager.

Bogens talrige direkte citater er anført i citationstegn og kursiv, og der er i citaterne anvendt en ensartet og nutidig stavemåde.

Civilingeniør Poul Nerenst har velvilligst ydet bistand med kommentarer og forslag. Fra Statens Byggeforskningsinstitut har civilingeniør Peter Mogensen stået for det endelige redigeringsarbejde.

Vi retter en tak til forfatteren og de mange bidragydere for en stor indsats og håber, at bogen vil tjene sit formål.

*Betonelement-Foreningen og Entreprenørforeningen*

*januar 1989*

Med denne nyttige håndbog ønsker SBI at fortsætte udgivelserne i den publikationsserie, som initieredes af det nu ophævede ATV-udvalg vedrørende betonbygværkers holdbarhed.

*Hans Jørgen Larsen*

*Statens Byggeforskningsinstitut*

*februar 1989*

*»Da jernbeton ved århundredets begyndelse efterhånden fandt anvendelse her i landet, var det vel nok den almindelige opfattelse, at man herved havde fået et materiale, som praktisk talt var uforgængeligt, og i modsætning til træ og jern ikke ville kræve nogen eller i hvert fald kun ringe vedligeholdelse. Denne antagelse har for udendørsbygværker af jernbeton i mange tilfælde vist sig ikke at holde stik, for selv om sådanne bygværker i almindelighed ikke har krævet periodisk vedligeholdelse svarende til fx maling af jernkonstruktionerne, så har det dog vist sig, at mange jernbetonkonstruktioner i det frie med tiden er blevet stærkt medtaget under vejrligets påvirkning.«*

Ovenstående citat (Nielsen, 1929) afviger ikke meget fra det, der i dag siges om betonkonstruktioners holdbarhed. Et andet citat fra samme artikel viser også, at der er mange lighedspunkter med argumentationer i dag:

*»Når det er gået således, skyldes det i mange tilfælde, at man ikke har lagt tilstrækkelig vægt på at beskytte betonen mod de forskellige angreb, den kan blive udsat for. Man har regnet med, at de forholdsvis fede betonblandinger, der anvendes i jernbetonkonstruktionerne i sig selv var tilstrækkeligt modstandsdygtige overfor angrebene. Det kan heller ikke skjules, at der i nogle tilfælde er begået konstruktive fejl, som har gjort konstruktionerne mindre modstandsdygtige for påvirkninger udefra.«*

Senere (Nielsen, 1933) kan man læse detaljerede beskrivelser af, hvorledes det var nødvendigt med omfattende reparationer:

*»Siden er der stadig fortsat med istandsættelse af broer, ved hvilke der i tidens løb har vist sig mangler, navnlig ved afsprængning af betonen om jerne på grund af for ringe omstøbning af disse eller opståede forskydningsrevner i bjælkebroer på grund af for ringe bøjlearmering. Ved nogle broer har der tillige vist sig mangler, som må siges at skyldes mindre god udførelse af betonstøbningen eller utætte støbeskel.«*

Fr. Niensens artikler er meget detaljerede og lærerige med hensyn til den tids teknik. Det var dog ikke første gang i dette århundrede, at problemerne om istandsættelse blev omtalt (Vedel, 1920). Problemerne med betons holdbarhed var heller ikke ukendte (Danø, 1914).

Selv om der til stadighed, gennem normændringer og skærpelse af gængs praksis (betonbeskrivelser), blev stillet større og større krav, kan man i litteraturen læse om, at problemerne ikke blev løst (Groth-Andersen, 1952). Efterhånden indså enkelte, at systematisk vedligehold kunne blive nødvendig (Københavns Bygningsvæsen, 1949b).

Fejl blev erkendt, og Dansk Ingeniørforening arrangerede kurser i 1940 (Suenson, 1940c) og i 1950 (Christensen, 1950). Begge kurser havde banebrydende indlæg, men det blev først i 1980'erne, at det blev slået fast i offentligheden, at »også beton skal vedligeholdes« (Jensen, 1982).

Med betonnormen DS 411 fra 1984 og Basisbetonbeskrivelsen for bygningskonstruktioner 1986 (BBB) forventer man, at fremtidige betonkonstruktioner vil vise en acceptabel holdbarhed, når de i øvrigt underkastes en løbende inspektion og et afpasset vedligehold. Enhver normrevision efter udgivelsen af den første danske betonnorm i 1908 har været motiveret med ønsket om større holdbarhed og/eller bedre udnyttelse af beton og armeret beton som byggemateriale. Det har medført, at kravene i betonnormerne til betonens delmaterialer, sammensætning, udstøbning og efterbehandling er blevet skærpet gennem tiden. Alligevel har det vist sig, at betonkonstruktioners holdbarhed ikke altid har svaret til forventningerne.

Ved enhver betonskade søger man at finde skadeårsagen. Her kan der hentes hjælp i litteraturen (Poulsen, 1985). Dernæst vil man søge at placere ansvaret, dvs. om det helt eller delvis skal placeres hos de projekterende, entreprenøren, materialeleverandørerne eller hos bygherren. Krav i betonnormer og gængs praksis ændrer sig meget i løbet af en tyveårig periode. Det betyder, at nuværende teknisk viden ikke kan lægges til grund for ansvarsplaceringen i betonskadesager. Det er altid viden, gængs praksis og normkrav på projekteringsstidspunktet, som skal lægges til grund for ansvarsplaceringen, idet der også skal tages hensyn til det vedligehold, som faktisk har fundet sted.

Dette kommer fx til udtryk i forliget om Urban-Planen (Fentz, 1986), hvor der blandt andet står:

*»Generelt kan der være grund til at understrege, at den betonteknologiske viden er forøget ganske betydeligt i de år, der er forløbet siden projekteringen og opførelsen af Urban-Planen. For næsten samtlige bebyggelser, der er opført i samme periode som Urban-Planen, er det i dag, med nutidens betonteknologiske viden, nødvendigt eller i hvert fald tilrådeligt at gennemføre en forebyggende vedligeholdelse af de udvendige betonkonstruktioner.*

*Ingen fagfolk eller bygherrer havde forudset denne udvikling, idet beton for 15–20 år siden stort set blev betragtet som uforgængelig. Det må imidlertid fastslås, at projekterende og udførende kun har kunnet leve op til den faglige viden og tekniske kunnen, som var almindelig på projekterings- og opførelsestidspunktet, og som var udtrykt gennem normal praksis på daværende tidspunkt, og ikke til en senere tids bedre viden.«*

I rapporter og udredninger om skadesager har man set, at vurderingen ikke altid sker ud fra de stillede krav i betonbeskrivelsen og den betonnorm der var gældende på tidspunktet for byggeriets projektering. Det gælder fx for v/c-forhold, luftindblanding, flintindhold og revnedannelser.

Danske betonnormer er funktionsorienteret i kravformuleringen. Et funktionskrav i en dansk betonnorm er derfor nøje knyttet til gængs praksis på bygværkets udførelsestidspunkt.

Gængs praksis og omsætningen af et normkrav til udførelse er et resultat af den viden, man har på projekteringstidspunktet. Den viden er så igen et resultat af tidligere års udvikling.

Den her foreliggende publikation har søgt at klarlægge baggrunden for de krav, man finder i de forskellige danske betonnormer og betonbeskrivelser, og hvorledes disse krav er blevet opfattet og omsat til praksis. Til dette formål er arkiver og litteratur blevet studeret og hovedlinierne er nedfældet i publikationen.

Der findes kun få kendelser i betonskadesager. Mange sager er enten blevet frafaldet eller er blevet forligt. Derfor har det ikke været muligt at bruge sådant materiale til at gengive tendensen i ansvarsplacering gennem tiderne. Indgåede forlig tager ofte andre hensyn end ansvarsplacering.

Der er blevet indsamlet dokumenter fra skadesager, herunder syn- og skønsrapporter med tilhørende dokumentation, blandt andet skaderapporter. Dette materiale har også dannet grundlag for denne publikation.

Det har været en naturlig disposition at gennemgå normerne siden 1908 i kronologisk rækkefølge. Der er foretaget en overordnet inddeling efter skadeårsager, således at publikationen kan anvendes som håndbog med denne indgang.

Ved gennemgang af normkrav og gængs praksis er fortolkninger underbygget med kursiverede citater og kildeangivelser. Enhver form for personlig vurdering er søgt undgået. Læseren har mulighed for at danne sin personlige mening dels fra citaterne, dels ved at gå tilbage til kilderne, jvf. litteraturfortegnelsen.

Det kan være vanskeligt at drage en overordnet konklusion på basis af de indsamlede facts. Det har heller ikke været hensigten.

Den indsamlede viden fremlægges for at være til rådighed, når man skal vurdere skadesager og den nuværende situation omkring betonkonstruktioners holdbarhed i øvrigt.

Det synes at være et typisk træk i dansk betonnormlitteratur at påpege, at der skal udvises forsigtighed. Det er imidlertid sjældent at der gives en anvisning på, hvordan man udviser forsigtighed.

Når man i dag læser tidligere betonnormlitteratur, betonbeskrivelser og betonnormer, kan formuleringer virke løse. De synes ikke altid at være entydige og operationelle.

Man kan dog næppe afvise, at der, dengang kravet blev fremsat, var tale om almindelig sprogbrug, som betonfolk var indforstået med. Man bør nok gøre sig fortrolig med den tids sprogbrug, før man dømmer.

Det kan ikke undgå at gøre et vist indtryk, at der har været betonskader i hele perioden siden den første betonnorm blev vedtaget i 1908 og op til i dag, selv om normkravene stort set er blevet skærpet ved hver normrevision. Det er også bemærkelsesværdigt, at man i mange betonskadesager må konstatere, at betonen har været konditionsmæssig i forhold til normkrav, krav i betonbeskrivelser og i overensstemmelse med gængs praksis på projekteringstidspunktet.

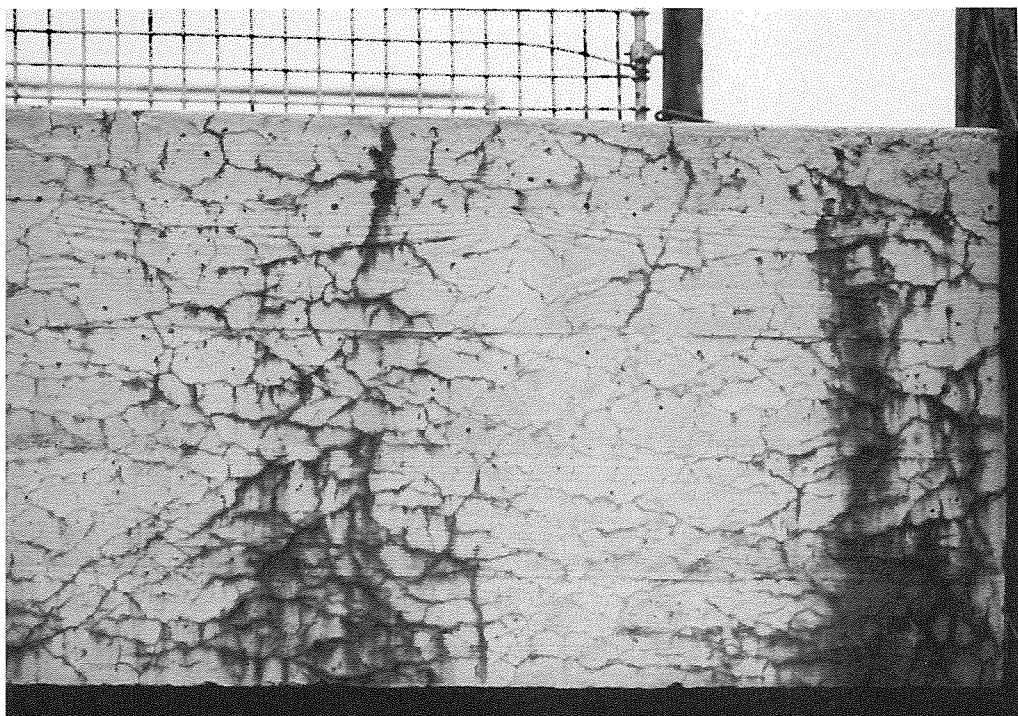
Hvor skadesager er omtalt i denne publikation, er det de principielle forhold, der er søgt trukket frem, mens de implicerede parter er søgt gjort anonyme.

*Foto på modstående side. I et oldgræsk bygningsværk i Libyen kan man se denne søjle, der er restaureret med nutidig beton. Mens grækernes bygningsmateriale holdt i et par tusinde år, blev betonen nedbrudt i løbet af et par år. Beton skal anvendes med omtanke. Så kan man opnå den holdbarhed, som man ønsker.*





*Beton i konstruktioner før og lige efter sidste århundredeskifte står i gængse kvalitetsmål næppe på højde med beton i dag, men det er provokerende, at flere betonkonstruktioner fra den tid fremviser en holdbarhed, der overgår betons holdbarhed i moderne byggeri. Øverste foto viser en kantdrager på en 50 år gammel betonbro. Nederste billede viser en kantdrager på en under ti år gammel betonbro. Man må dog ikke forledes til at drage for vidtrækkende konklusioner af disse eksempler; også i begyndelsen*







*af dette århundrede var der holdbarhedsproblemer, (Danø, 1912). Fodgængerbroerne (her på denne side) ved Københavns Frihavn og over Kystbanen ved Skodsborg nord for København hører til de gode eksempler på armerede betonkonstruktioner fra slutningen af sidste århundrede. Begge betonbroer er, i betragtning af alderen og i forhold til yngre betonbroer, i udmærket stand.*



Der er to forhold, som især har vist sig at have betydning for et betonbygværks holdbarhed. Det er dels dets konstruktive udformning (såvel i helheden som i detaljerne), dels tykkelsen af armeringens dæklag. Disse to forhold er det vigtigt at sammenholde og vurdere i relation til betonens delmaterialer, sammensætning, komprimering og efterbehandling – altsammen i lyset af bygværkets miljø.

Den måde, hvorpå en betonkonstruktion bliver udformet, er i øvrigt ikke alene et resultat af de erfaringer, som er gjort i tidens løb med hensyn til holdbarhed. Udformningen følger ofte en slags modemæssige tendenser, der kan føres tilbage til påvirkninger fra toneangivende arkitekt- og ingeniørtegnerstuer i Danmark og udlandet.

Også det statiske arrangement har betydning for bygværkets holdbarhed. Det er fx ikke ligegyldigt for nedbrydningshastigheden (alt andet lige), om det er en trækside (med revner) eller en (revnefri) trykside af en konstruktionsdel, der udsættes for et aggressivt miljø.

Betonnormerne i Danmark har, bortset fra krav til dæklag, kun i mindre grad angivet krav til de geometriske forhold. Den udformning, som kendetegner de forskellige tidsperioder, er en funktion af det, der kan betegnes »gængs praksis«. Gængs praksis behøver imidlertid ikke at sikre en god holdbarhed under alle omstændigheder. Specielt miljøændringer (fx tørsaltning og manglende vedligehold) har givet anledning til skader på konstruktionsdele, hvis udformning har fulgt gængs praksis, og som ved mindre aggressive miljøer har vist tilfredsstillende holdbarhed.

## Konstruktiv udformning

De tidlige betonnormer, til og med 1949-normen, stiller ikke krav til betonkonstruktioners ydre geometriske udformning. Krav til den konstruktive udformning gælder kun armeringens placering, dvs. den indre geometriske udformning.

Den tekniske litteratur, der beskæftiger sig med betonskader, fx (Christensen, 1950), tager også konstruktioners geometriske udformning som givet og er udelukkende beskæftiget med, om betonens kvalitet svarer til det pågældende miljø.

## Skademekanisme

En betonkonstruktions ydre geometriske udformning skal sikre, at nedbør hurtigt ledes bort fra konstruktionen, eventuelt ved hjælp af en såkaldt konstruktiv beskyttelse. Vandrette betonoverflader, forsænkninger, lunger og detaljer, der samler vand, kan medføre, at betonen kan vandmættes. Det betyder, at skader, der initieres af vædning og udtørring af betonen, fremmes, fx udludning, frost/tø-skader, rustdannelser og alkalikiselsreaktion. Disse forhold forværres, hvis en vandret, ubeskyttet betonoverflade desuden er en trækside med forekomst af revner fra mekanisk last.

En betonkonstruktions indre geometriske udformning skal sikre, at betonstøbning og komprimering kan foregå uden stenreder og grovporøsiteter. Beton med sådanne defekter vil ikke kunne beskytte armeringen som forudsat ved projekteringen. Hurtig carbonatisering og chloridindtrængning kan fx fremmes med rustdannelse på armeringen til følge.

## Ydre geometriske forhold

I Alkaliudvalgets vejledning 2 finder man et informativt afsnit (Jeppesen, 1961) om bygværkers udformning og udførelse. I denne vejledning ser man også, at der advares imod anvendelse af vandrette, uafdækkede betonflader; fald 1:20 anbefales som passende minimum.

I 1973-normen findes der et helt kapitel om konstruktive regler. Kapitlet handler stort set kun om konstruktioners indre geometriske udformning, dvs. armeringsplacering og forløb. Der er dog en antydning af en anbefaling i konstruktive regler, nemlig i afsnittet generelle regler, idet der her står:

*»Ved udformningen af de konstruktive detaljer skal armeringens forløb arrangeres med en rimelig kontinuitet, og der skal træffes de nødvendige arrangementer i den geometriske udformning til sikring af holdbarheden.«*

Det havde stort set været sådan, at arkitekt eller ingeniør havde udformet en betonkonstruktion efter funktion og æstetik. Derefter blev bygværket projekteret i detaljer, idet man har forudsat den miljøklasse, som betonnormen foreskrev. Denne linie fortsatte op gennem 1970'erne.

Blandt bygherrer, projekterende og udførende bredte der sig i 1980'erne et ønske om at udforme konstruktioner således, at bygværkets miljø ikke blev strengere end højst nødvendigt. Det afspejlede blandt andet en international tendens (Schiessl, 1983) og vil formentlig fremover få en mere dominerende plads i normer og anvisninger for udformning og projektering af holdbare betonkonstruktioner (CEB, 1985).

I Danmark har Byggefejlregistret i mange år, ved lysbilledserier og eksempelsamlinger til debat (Lorentzen, 1983) samt med hæfter om fejlfinding på projektstadiet (Lorentzen, 1985), henledt opmærksomheden på betydningen af blandt andet bygværkers geometriske udformning.

Ved revisionen af betonnormen i 1984 sker der ingen ændring i normkravet til konstruktioners udformning af holdbarhedshensyn. Derimod kommer der en vejledende tekst:

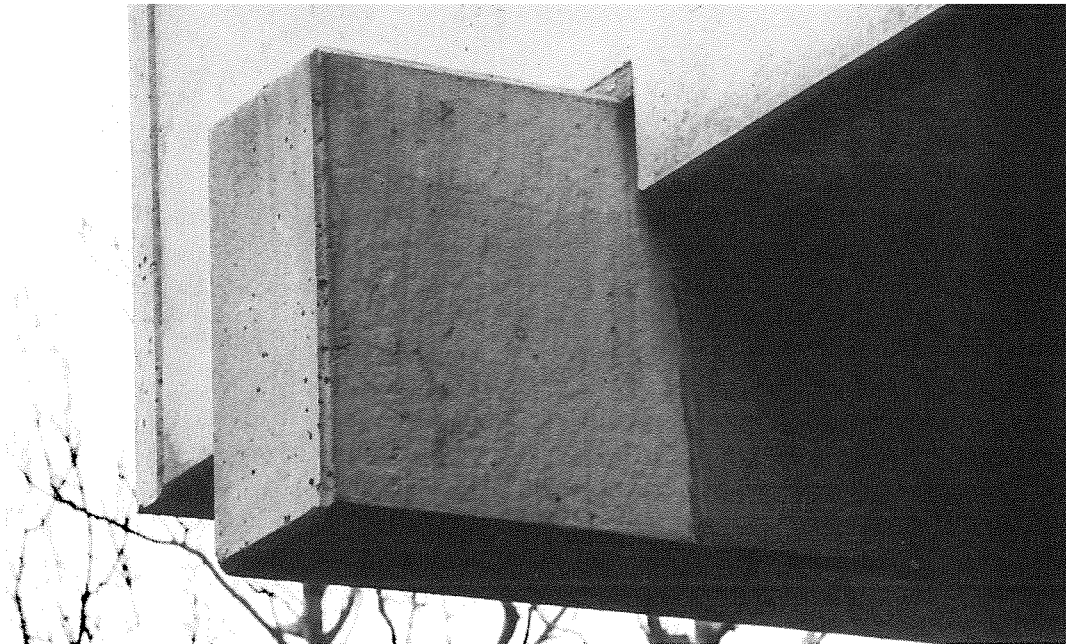
*»Sikring af holdbarhed gennem geometrisk udformning kan ske ved vand-afvisende detaljer som fald på overflader samt etablering af vandnæser, dryp-noter og kantafskæring ved vederlag. Fugeplacering og fugedetaljer bør ligeledes udformes ud fra holdbarhedshensyn.«*

Basisbetonbeskrivelsen fra 1986 (BBB) tager ikke sigte på konstruktioners udformning og projektering. Der er dog i indledningen til BBB givet visse anbefalinger med hensyn til konstruktionsudformningen. Der slås det fast, at konstruktionsudformningens betydning for betonens holdbarhed ofte er overset. Dernæst gives der en række anbefalinger om formgivning af detaljer, således at lokalmiljøets aggressivitet mindskes.

I håndbøger og lærebøger om konstruktionslære koncentrerer man sig hovedsageligt om udformningen med henblik på optagelse af mekanisk last og svind-, krybnings- og temperaturpåvirkninger (SKT-påvirkninger) samt armeringsføring, blandt andet for at kunne opnå en god støbekvalitet (CtO, 1979).

*En betonkonstruktions ydre geometriske udformning har betydning for afledning af slagregn og smeltevand. Ingen dansk betonnorm har imidlertid stillet krav til en konstruktions ydre geometriske udformning. Normer er dog affattet under den forudsætning, at brugeren af den har den fornødne indsigt. Det er da heller ikke udformningen, der er hovedansvarlig for en betons nedbrydning. Den ydre geometriske udformning kan imidlertid lokalt forværre betonens miljø, idet betonen kan vandmættes, og vandet kan være saltbærende. Vand er en nødvendig betingelse for næsten al nedbrydning af beton.*

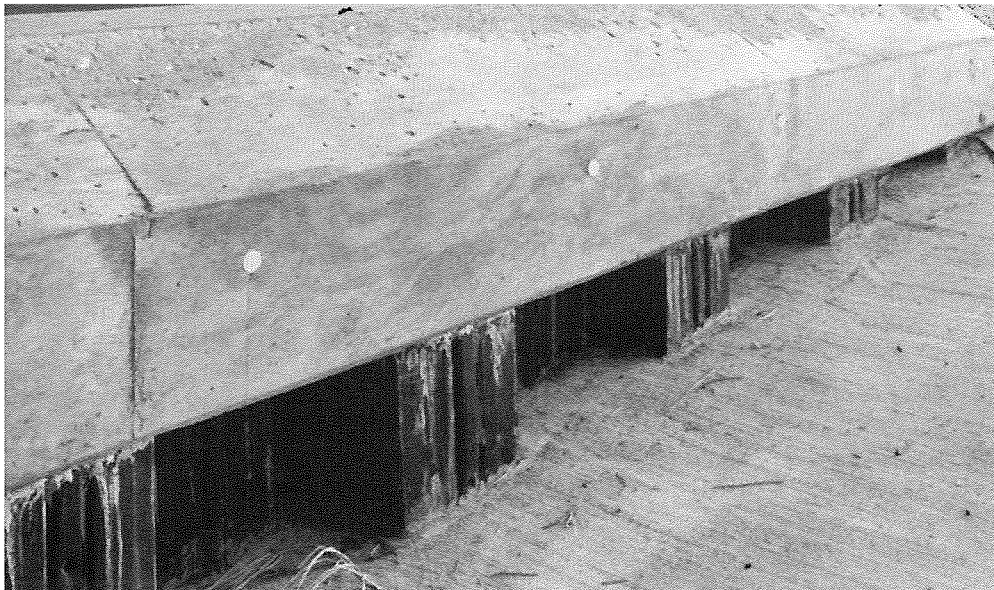




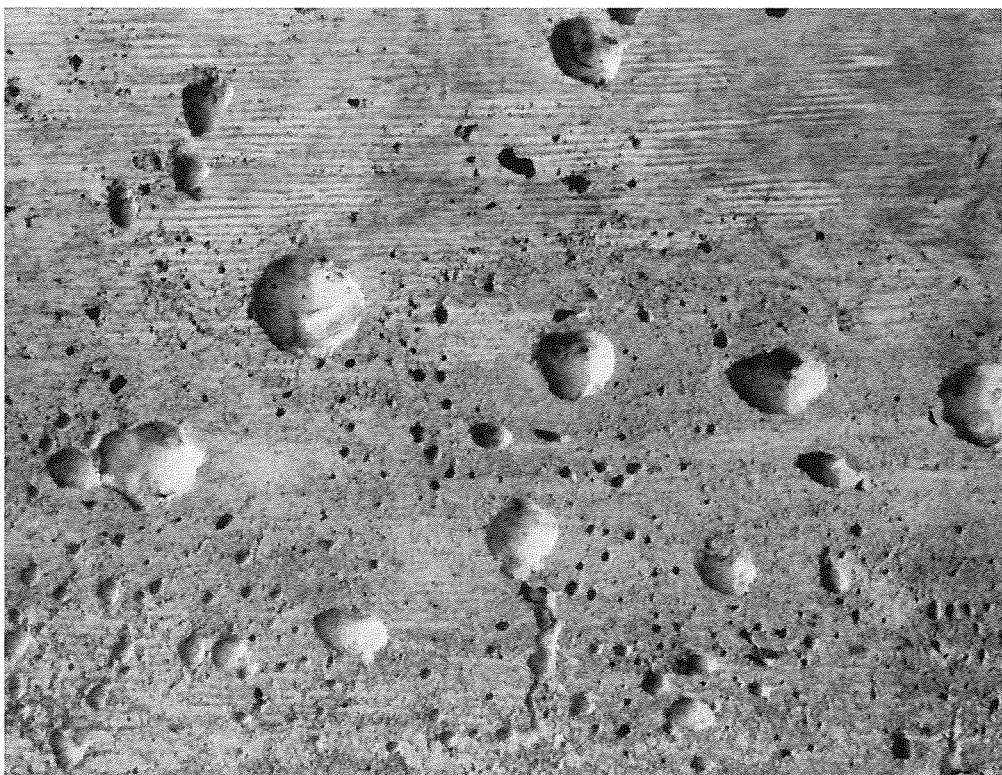
*Udragende bjælkeender kan tilføre et bygværk detaljer, der bryder en ensformighed. Det stiller dog krav om, at betonen i bjælkeenden kan modstå det dér lokalt mere aggressive miljø.*

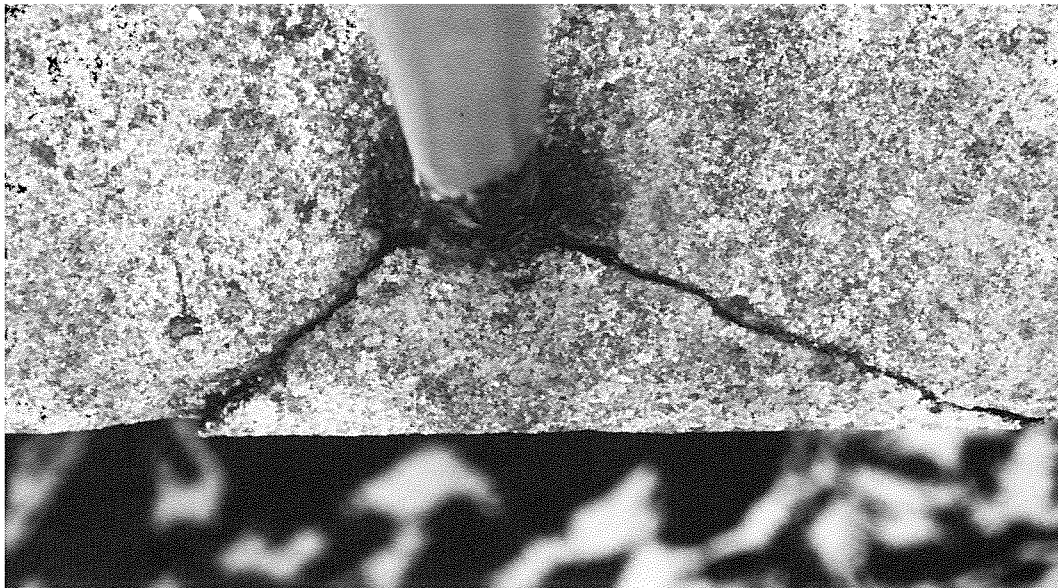
*En skotrende i et altangangselement kan, når der anvendes spændbeton, få opbøjning. Tages der ikke hensyn hertil ved placering af afløb, kan der dannes lunger med vandlommer til følge; en elementær geometrisk fejl, der kan undgå opmærksomheden ved udarbejdelsen af tegningen. Vandpytten ses dog tydeligt efter blot en lille byge.*





*Ubeskyttede, vandrette betonoverflader bør undgås. Vandrette betonoverflader kan vandmættes, og nedbrydningen kan derved accelereres. Både for ringe fald og for stort fald kan skabe problemer. Er faldet så stort, at det er nødvendigt at anvende overforskalling, kan der vanskeligt opnås en blærefri betonoverflade. Anvendes der ikke en overforskalling, kan der næppe altid udføres en effektiv komprimering.*





*Tidligere tiders byggeskik med indstøbte stålceptre for rækværket i betonen fra den opadvendte, vandrette betonoverflade har givet anledning til afsprængninger. I dag anbefales en fastgørelse til den lodrette betonoverflade (Olesen, 1987).*

### **Indre geometriske forhold**

De danske betonnormer har altid haft regler for armeringsføringen. I betonnormen fra 1908 står der således:

*»Jernet må indlægges og under betoneringen så nøjagtigt som muligt fastholdes på den i tegningen eller beregningerne angivne plads, og der må ved betoneringen sørges for, at jernet bliver fuldstændig indhyllet af betonen.«*

Dette krav blev ved revisionen i 1921 suppleret med krav om dæklagstykkelse.

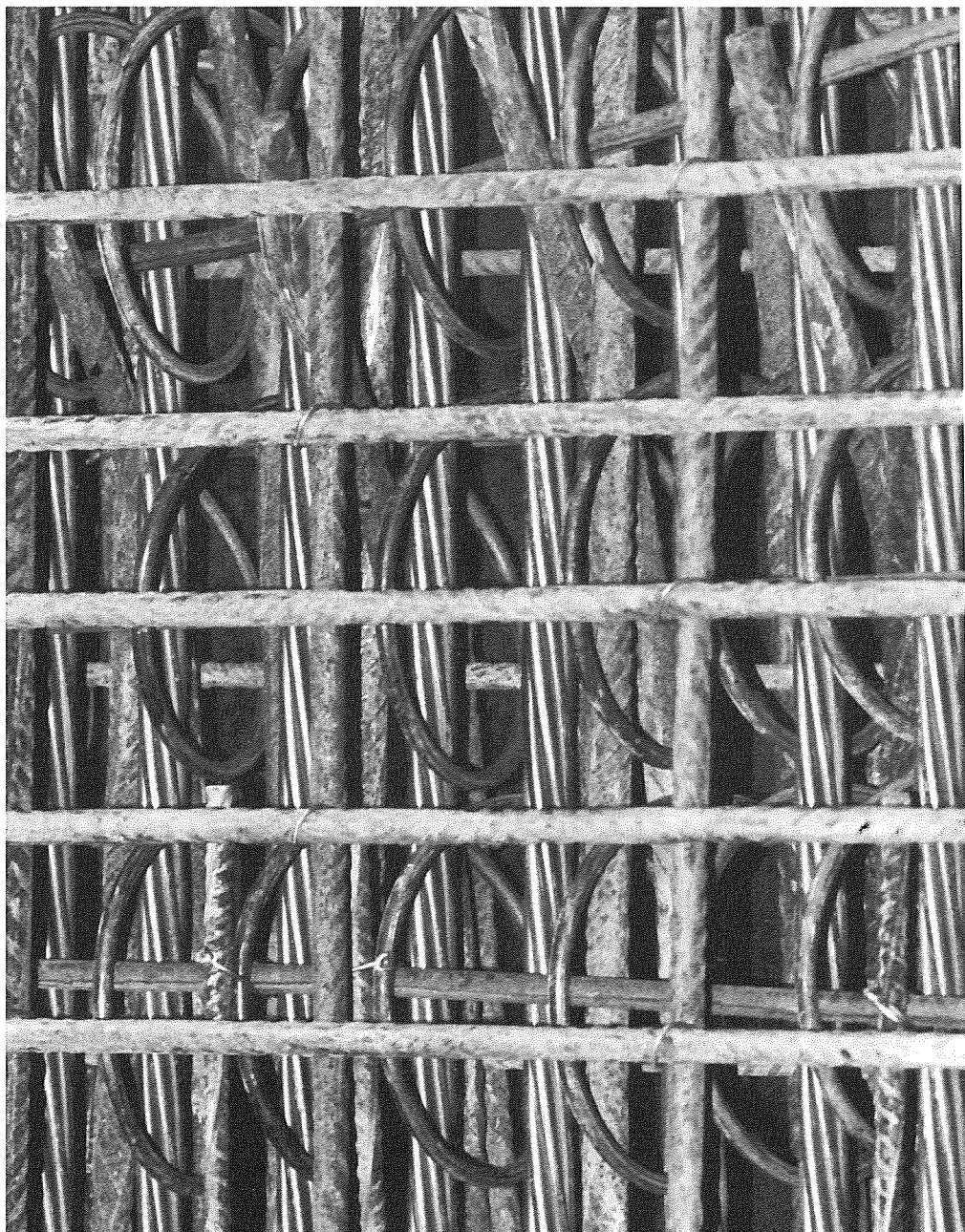
Den fri afstand mellem stænger og glat armering var halvanden gang diameteren helt op til normrevisionen i 1973. Derefter blev den fri afstand sat til det dobbelte af armeringsdiameteren, dog mindst 10 mm større end betontilslaget største kornstørrelse. Kravet til den fri afstand var kun gældende uden for stødene.

I princippet anvendes dog den samme formulering i 1984-normen, som der blev anvendt i 1908-normen:

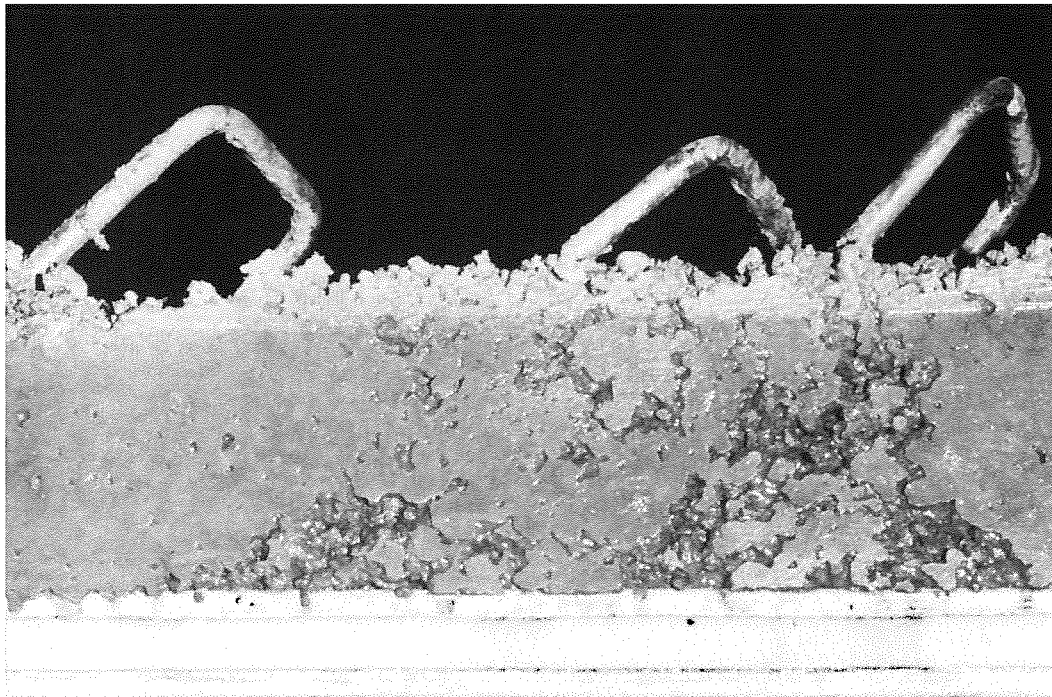
*»Armeringsstængerne skal placeres med så stor indbyrdes afstand, at en god udstøbning og en effektiv komprimering kan finde sted.«*

I vejledningen hertil er der angivet detaljerede anvisninger på placering af armering på en bjælkes fri strækning.

*Tætliggende armering stiller store krav til betonens bearbejdelighed og komprimeringsudstyrets effektivitet. Opfyldes kravene ikke, er der risiko for mangelfuld udstøbning (modstående side). Betonnormerne stiller krav til den indbyrdes afstand mellem armeringsstænger i typiske tværsnit af bjælker, søjler og plader. Derimod savnes der retningslinier eller krav om armeringsforholdene i fx bjælkeender og krydsende konstruktionsdele af armeret beton.*







Om placering af armering ved bjælkeender, armeringsstød mv. gives følgende anbefaling:

*»Mindre afstande end dem, der er angivet i figur V 6.4.1.2a, kan dog tolereres på begrænsede længder, blandt andet i områder med stød, hvis omstøbningen er sikret.*

*Ved fuger med armering sikres kravet om god udstøbning af betonen ved at holde afstanden fra armeringsstang til elementoverflade mindst lig største stenstørrelse, dog ikke under 10 mm.«*

## **Elementbyggeri**

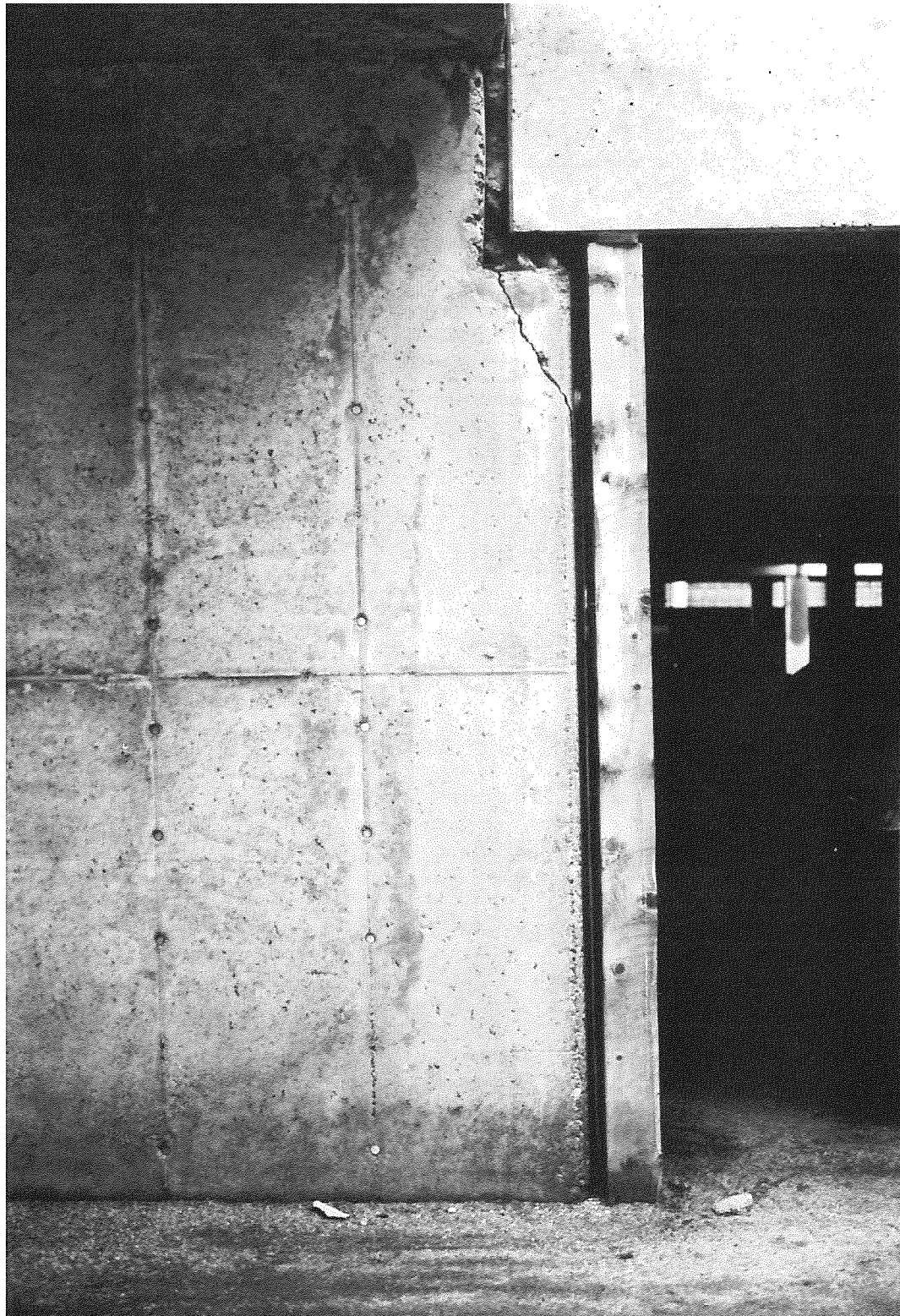
For elementbyggeritanken har samlingsdetaljer, spinkle dimensioner og små lejeflader været afgørende. Da elementbyggeriet blev udviklet i Danmark, var 1949-normen gældende. Der var ingen konkrete krav til armeringens placering, til tolerancer og fastgørelse ud over 1949-normens formulering:

*»Jernet skal anbringes i formene så nøjagtigt som muligt i overensstemmelse med tegninger og beregningsgrundlag, og der må drages omsorg for, at jernet under støbningen fastholdes på sin plads, så at det helt indhylles af betonen.«*

Ved brug af »undvigeparagraffen« på side 2 i paragraf 1 om gyldighedsområde i DS 411 udgave 1 fra 1949 blev der udformet elementdetaljer, hvor de projekterende ofte har været alt for optimistiske på betonelementfabrikkerens vegne. Ved analyse af skader på betonelementer kan man finde armeringsdetaljer, hvor der er regnet med nultolerancer. Der kan være tilfælde, hvor armeringsføringen kun er mulig, hvis der ses stort på krav til bukkediameter etc. Desuden er der tilfælde, hvor det ikke har været muligt at fastholde armeringen på den tilstræbte plads.

Med revisionen af betonnormen i 1973 sker der en principiel ændring. Efter 1949-normen skulle den udførende armere i overensstemmelse med tegningerne og gøre det så nøjagtigt som muligt. Fra 1973 skal den udførende foruden at følge armeringstegningerne også sikre sig, at god støbning, effektiv komprimering og tilstrækkelig fastholdelse af armeringen kan finde sted. Herunder skal tolerancer på  $\pm 10$  mm i kontrolklasse I og II, dog højst 10 pct. af nyttehøjden, overholdes. Dette skal ske samtidig med, at den udførende sikrer det nødvendige dæklag på armeringen svarende til den miljøklasse, som den projekterende har opgivet i projektet.

*Foto på modstående side. Projektering af elementbyggeri medfører ofte små vederlag for bjælker, altanplader og lignende konstruktionselementer. Når der ikke bliver taget hensyn til disse elements bevægelse fra vinkeldrejning, krybning samt fugt- og temperaturvariation, opstår der en skadeform, der ikke ses for betonkonstruktioner støbt på stedet, nemlig afskalning af understøtningen.*



Ved gennemgang af tilfældigt udvalgte elementtegninger efter 1973 må det konstateres, at de stillede normkrav og anbefalinger i vejledningen ikke altid er blevet overholdt.

Ved revisionen af betonnormen i 1984 sker der ingen principiel ændring i krav til og vejledningen for armeringsføring i betonelementer og samlingsdetaljerne.

Basisbetonbeskrivelsen 1986 omhandler ikke armering og armeringsføring. BBB forudsætter, at 1984-normen følges på dette område.

## Skader

Fra Byggefejlregistrets hæfte 7 om byggefejl (Lorentzen, 1983) er der eksempler på betonelementers armeringsdetaljer, som har medført rustskader. I eksempel 7.49 er der således et armeringsarrangement i en altanbrystningstå. Med nultolerance vil dæklaget højst være 16,5 mm, selv om kravet er mindst 20 mm. Desuden kan armeringen næppe fastholdes og modstå de påvirkninger, som den udsættes for under udstøbning og vibrering af betonen.

I eksempel 7.51 er der beskrevet et armeringsarrangement i en altanplade, hvor armeringen havde forskubbet sig ca. 5 cm under betonens støbning og komprimering. Det gav, foruden en nedsat bæreevne, også store revner med øget korrosionsrisiko til følge.

## Dæklag

Såvel normkrav som gængs praksis, både i projektering og i udførelse, har påvirket armeringsudformningen. For at reducere byggeomkostningerne, stræber man i projekteringen ofte efter at anvende små betondimensioner og at gøre armeringens dæklag mindst mulige. Det medfører udførelsmæssige problemer, hvis der i projekt materialet ikke er taget hensyn til realistiske målfølgelser.

*Foto på modstående side. Dæklaget (det yderste lag beton) skal beskytte armeringen mod omgivelsernes aggressivitet. De hyppigste rustskader skyldes gennemcarbonatisering af betonen i dæklaget og chloridindtrængning gennem dæklaget. Dæklagets beskyttende virkning afhænger både af dæklagets tykkelse og af betonens kvalitet i dæklaget. Kvalitet måles i denne sammenhæng ved både kapillarporøsitet (v/c-forhold), grovporøsitet (stenreder, komprimering) og sammenhæng (revner). Tidligere betonnormers noget »løse« formulering af dæklagskrav er med 1984-normen søgt afløst af éntydige og operationelle krav. En armering, der ikke er fastholdt i formen, kan medføre et for lille dæklag over armeringen med rustdannelse til følge.*



## Skademekanisme

Holdbarhedsmæssigt set skal armeringens dæklag beskytte armeringen imod ydre påvirkning. De ydre påvirkninger, der har betydning for nedbrydning af dæklagets beskyttelse, er mekanisk last, sur atmosfære og chloridholdige vandpåvirkninger. Dæklagets tykkelse og revnetilstand samt betonens kapillarporøsitet og efterbehandling er hovedparametre for beskyttelsesevnen.

Den sure atmosfære medfører en neutralisering af betonoverfladen, herunder carbonatisering. Denne ændring trænger ind i betonen med aftagende hastighed, men vil før eller siden nå armeringen. Derefter er armeringens rustbeskyttelse væk. Er der passende stor fugtpåvirkning, vil armeringen få fladetæring og dæklaget vil afsprænges, når rustdannelsen har nået en vis mægtighed.

Chloridioner fra betonens omgivelser (havvand, tøsaltning og svømmebadsvand) vil trænge ind i armeringsdæklaget, dels ved diffusion, dels ved kapillarsugning, og vil før eller siden nå armeringen. Når chloridkoncentrationen omkring armeringen har opnået en vis kritisk værdi (afhængig af cementtype, porevæskens pH-værdi, cementindhold og fugttilstand), vil armeringen få grubetæring.

Rustdannelse på armering kan medføre afsprængning af armeringens dæklag, da rust fylder mere end det stål, der er medgået til rustdannelsen og beton er et sprødt materiale med en lille trækstyrke. Sandsynligheden for afsprængning over rustende armeringsstænger aftager med aftagende forhold mellem armeringsdiameter og armeringsdæklag (Scholtz, 1984). Der kan forekomme tilfælde, hvor armeringen er rustet bort, uden at det derfor kan ses på betonoverfladen. Her er betonens komprimering ofte afgørende.

## Betonnormen 1908

I Dansk Ingeniørforenings første betonnorm (fra 1908) er der ikke stillet krav til armeringens dæklagstykkelse (DIF, 1908b). Der forelå imidlertid både ændringsforslag og bemærkninger fra den offentlige kritik, herunder forslag om indførelse af krav til mindste dæklag. De blev dog ikke tiltrådt af normudvalget (DIF, 1908b). Årsagerne kendes ikke. I referatet fra den offentlige høring kan man blandt andet læse, at ingeniør Kruse foreslår følgende krav indført som en ny paragraf:

*»Afstanden fra jernindlæggets overside til den nærmeste betonoverflade skal for plader og vægge ikke være mindre end 1 cm og for bjælker og søjler ikke mindre end 2,5 cm.«*

Det bemærkes her, at ingeniør Kruse søger at skelne mellem typer af konstruktionsdele og ikke miljøpåvirkninger. Det skal dog erindres, at betonnor-

men fra 1908 ikke omfattede beton til vandbygning, men kun det, man i dag vil betegne som beton i passivt og moderat miljø.

Der er i normforslaget heller ikke taget hensyn til betonsammensætningen, dvs. fede kontra magre betoner/mørtler, for at bruge den tids betegnelser.

Der blev foretaget revision af betonnormen i 1913. Der blev dog ikke ved denne lejlighed indført krav til armeringens dækklag (DIF, 1913).

### **Husbygningsnormen 1916**

Dansk Ingeniørforening udgav den første husbygningsnorm i 1916. Vedrørende krav til beton henvises til betonnormen (DIF, 1913). Husbygningsnormen blev revideret i 1926 og 1930.

### **Betonnormen 1921**

Betonnormen fra 1913 blev revideret i 1921. Heri blev der nu for indendørs arbejde krævet mindst 1 cm og for udendørs mindst 2 cm dækning af armeringen (DIF, 1921). Her er det alene miljøpåvirkningen, der tæller.

Betonsammensætningen eller typen af konstruktionsdele indgår ikke. Derimod indgår der en anden interessant parameter, nemlig overfladebehandlingen. Den fulde ordlyd er i øvrigt:

*»Jernet skal indlægges og under betoneringen så nøjagtigt som muligt fastholdes på den i tegningen eller beregningerne angivne plads, og der skal ved betoneringen sørges for, at jernet bliver fuldstændig indhyllet af betonen. Alt jern skal dækkes af et betonlag af mindst 1 cm tykkelse; ved udendørs konstruktioner dog mindst 2 cm, medmindre betonoverfladen beskyttes på virksom måde, fx ved asfaltering, tagpapbeklædning eller lignende.«*

### **Betonnormen 1926**

Dansk Ingeniørforening udsendte i 1926 »Foreløbige regler for beregning og udførelse af jernbetonkonstruktioner i vandbygning«. Her fastslås, at dækklaget skulle vælges mellem 2 og 5 cm efter forholdene (DIF, 1926). Reglerne er ret detaljerede og angiver de forhold, der skal tages hensyn til:

*»Jernets minimumsafstand fra betonens overflade vælges mellem 2 og 5 cm efter forholdene, således at man bruger en desto større afstand*

- jo magrere beton, der anvendes,*
- jo mere saltholdig havvand er,*
- jo mere udsat betonen er for ydre mekaniske og kemiske påvirkninger, hvorved navnlig tages hensyn til virkningen af direkte bølgeslag eller af skiftende vandstand, der vekselvis bringer overfladen i berøring med havvandet og luften.*

*Beskyttelse af overfladen ved særlige foranstaltninger bør foretages, såfremt konstruktionen er udsat for særlige mekaniske eller kemiske påvirk-*

ninger (fx stærkt slid eller angreb af svovlbrinte fra bunden). Det anbefales at undgå skarpe kanter.«

Her indføres altså hensyntagen til betonens sammensætning, miljøpåvirkning og overfladebeskyttelse.

Fremkomsten af denne betonnorm giver anledning til et indlæg fra distriktsingeniør A. Poulsen (Poulsen, 1926c). Det interessante er dog svaret fra normudvalgets formand, professor A. Ostenfeld:

»Hvad det af ingeniør Poulsen særlig kritiserede punkt angår, nemlig tykkelsen af det dækkende betonlag uden for jernet, har udvalget naturligvis været klar over, at der kan være vægtige grunde til at forøge denne tykkelse og dermed (formentlig) beskyttelsen af jernet, og at dette også ofte gøres fx i USA op til 3" til 4". Udvalget har imidlertid også været klar over, at man kan gå for vidt i så henseende, og det ikke blot af økonomiske grunde (konkurrencehensyn), men også fordi man derved kan risikere at falde fra Scylla i Charrydis. Jo tykkere man gør betonlaget, des mere forholder det sig som uarmeret beton; det kan ikke følge det fjernt liggende jerns deformationer, hvorfor man her udsætter sig for at få store revner og derigennem rustangreb på jernet, afsprængning af betonen osv. Ved rigtig armering af betonen sikrer man sig ikke mod revner, men man opnår, at revnerne bliver finere og derfor mere uskadelige; og »rigtig armering« vil sige: så intim blanding som mulig af jern og beton, dvs. ikke for store uarmerede partier. Det er derfor rigtigt at angive ikke blot en minimums-, men også en maximumstykkelse af dæklaget. Om denne sidste skal være 5 cm eller 6 cm eller måske endog 8 cm (3"), kan der være forskellige meninger om; udvalget har enedes om at sætte 5 cm, og jeg for min part tror, at 5 cm er tilstrækkeligt, og at man hellere, i stedet for at forøge tykkelsen, skal lægge vægten på dæklagets kvalitet.«

Denne holdning, som professor A. Ostenfeld hermed giver udtryk for, vil genfindes hos mange af de personer, der blev ansvarlige for senere normrevisioner.

I betonnormen fra 1984 (DIF, 1984) finder man således følgende erklæring:

»Dæklagets vigtigste funktion er at hindre korrosion af armeringen, og derfor er tætheden af dæklaget lige så vigtig som tykkelsen.«

Begrebet tæthed defineres dog ikke nærmere.

Det blev i betonnormen fra 1926 krævet, at beton i vandbygning havde et cementindhold på mindst 380 kg/m<sup>3</sup> beton og højst 600 kg/m<sup>3</sup> beton. Med så store cementindhold må den tids betoner have haft ganske lave v/c-forhold. Betonnormen stillede dog ikke krav til v/c-forholdet.



## Betonnormen 1930

I betonnormen fra 1930 indførtes den tredeling, som også kendes i dag:

*»Jernet skal indlægges og under støbningen så nøjagtigt som muligt fastholdes på den i tegningen eller beregningen angivne plads, og der skal ved støbningen sørges for, at jernet bliver fuldstændig indhyllet af betonen. Hvis jernet ikke er udsat for særlige kemiske angreb, skal de dækkes af et betonlag, hvis tykkelse ikke må være mindre end:*

- 1 cm i konstruktioner, hvis flader ikke udsættes for vejrlig eller stærk fugtighed*
- 2 cm i konstruktioner, hvis flader er udsatte for vejrlig eller stærk fugtighed*
- 3 cm i udendørs brobjælker, brobuer, brosøjler og kranskinnebragere.»*

Det bemærkes, at der her er tale om krav, der afhænger af både miljøpåvirkning og konstruktionselementernes typer. Det er også bemærkelsesværdigt, at tolerancekravet om, at »jernet skal indlægges så nøjagtigt som muligt på den i tegningen angivne plads«, fortsat har en så løs formulering.

Betonekvaliteten er ikke fremme i selve betonnormen. Det blev i denne normudgave fra 1930 krævet, at beton til udendørs brug havde et cementindhold på mindst 300 kg/m<sup>3</sup> beton, men der var ikke et ord om krav til betonens v/c-forhold. Kravet til blandingsforhold var formuleret på følgende måde:

*»Cementmængden pr. m<sup>3</sup> hærdnet beton skal være mindst 300 kg ved udendørs og mindst 270 kg ved indendørs konstruktioner. Der bør være tilstrækkeligt overskud af mørtel til at give en tæt beton; mørtlens rumfang bør være mindst 10 pct. større end rumfanget af stenenes hulrum.»*

## Betonnormen 1943

I begyndelsen af 1940'erne blev der mangel på cement og armering som følge af krigen. Derfor blev betonnormen fra 1930 revideret. I forordet til de foreløbige betonnormer fra 1943 (DIF, 1943) står der:

*»På grund af den for tiden herskende cementmangel har Dansk Ingeniørforening anset det for formålstjenligt at medvirke til at indføre sådanne ændringer i beton- og jernbetonkonstruktioners udførelse og beregning, at besparelser i cementforbruget kan opnås i forhold til hidtidig praksis.*

*De veje, man er gået, har været at angive en mere rationel sammensætning af grus- og stenmaterialerne og en begrænsning af vandtilsætningen samt en højere tilladelig påvirkning af betonen.*

*Ved de første foranstaltninger opnås, at de samme styrketal kan fås ved magrere betonblandinger, ved den sidste, at konstruktionerne kan udføres med mindre betondimensioner.»*

## Betonsammensætning

Med denne revision indføres krav til betons sammensætning som skulle medføre mindsket cementforbrug. For at opnå tilstrækkeligt gode holdbarhedsegenskaber for beton efter betonnormen 1943, dvs. tæthed, indføres følgende krav:

⌋ Kitmasserumfanget skal overstige rumfanget af mellemrummene mellem gruskornene med mindst 5 pct., 10 pct. eller 20 pct., efter som beton vibreres, maskinstampes eller håndstampes.

⌋ Et »kornkurveområde« for betonens sand- og stenmaterialer anbefales. »Brugeligt« såvel som »godt« område anføres.

⌋ Betonens v/c-forhold må højst være 0,85, når der anvendes hurtighærdnende portlandcement og 0,65 når der anvendes almindelig hærdnende portlandcement.

Hermed lægges det op til de udførende parter selv at nå frem til en cementbesparelse. Der var nemlig ikke stillet krav om en mindsteværdi (eller maksimalværdi) for betons cementindhold. En så afgørende ændring i kravformuleringen gav selvfølgelig også anledning til kommentarer. Således skriver H. Dührkop fra DTH (Dührkop, 1943a):

*»At der åbnes mulighed for at fremstille jernbeton med mindre cementmængder end efter de gamle normer, kan betragtes som en rimelig og naturlig følge af det voksende kendskab til grusets fornuftige sammensætning, men de nye normer kræver jo ikke, at dette kendskab udnyttes, og kan man mon under sådanne forhold være sikker på, at de nævnte krav er tilstrækkelige? Styrken skal eftervises, men tætheden ikke, og i mange tilfælde er det jo lige så vigtigt, at betonen er tæt nok, som at den er stærk nok. Er gruskornene uporøse, afhænger betonens tæthed alene af kitmassen, og jeg kunne tænke mig, at det, at vand-cement-forholdet ikke overstiger 0,65, ikke er tilstrækkeligt. Blander man 100 g cement og 65 g vand fås en meget tynd slam, og hælder man den i et cylinderglas, vil cementen bundfælde sig og et betydeligt vandlag samle sig på overfladen før størkningen, og fylder man mellemrummene i grus med sådan slam, vil det samme ske, hvis ikke mellemrummene er så små, at kapillære kræfter fastholder cementkornene, dvs. hvis ikke gruset indeholder en vis mængde sand. Beton af sandfattigt grus eller grus med sand uden tilstrækkeligt mange fine korn kan være utæt af denne grund, idet det udskilte vand samler sig øverst i de groveste mellemrum og, når vandet forsvinder, danner porer, der står i indbyrdes forbindelse. En vandudskillelse som den nævnte ophæves ikke ved at anvende et vist overskud af slam.«*

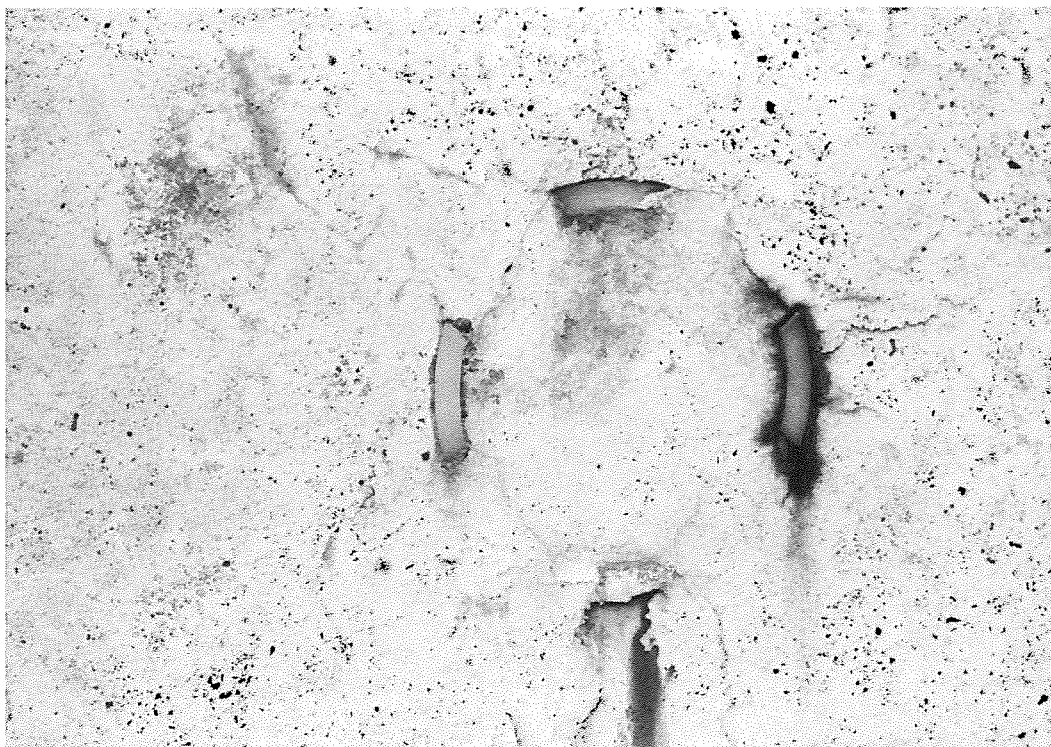
Med 1943-normen indføres den forskel i (cementtype-afhængige) krav til v/c-forhold, som først blev forladt i 1973-normen. Denne forskel kan måske være vanskelig at forstå i dag, men har følgende baggrund (Skjoldborg, 1950):

*»Erfaringsmæssigt giver finmalede cementer lettere vandtæthed end grovere formalede cementer, hvorfor man, hvor det drejer sig om at opnå vandtæt beton, sikrere når dette ved anvendelse af rapidcement i stedet for portlandcement, og på samme måde opnår man endnu sikrere vandtæt beton ved anvendelse af super-rapidcement. Efter udførte forsøg bliver beton, der er rigtig sammensat og veludført med super-rapidcement, vandtæt selv med et vandcementtal så højt som 0,85, medens man under samme forhold ikke kan komme over et vandcementtal på 0,65 ved benyttelse af portlandcement.«*

### Dæklagstykkelser

Ved revisionen bliver de nødvendige dæklagstykkelser ikke ændret. Normen handler kun om materialer, betonkontrol og tilladelige spændinger. Andre forhold var normsat i betonnormen fra 1930 og fortsat gældende. Det må tages som udtryk for, at normfædrene var overbeviste om, at der ikke ville blive tale om en kvalitetsforringelse for betonen, når de nye regler blev fulgt.

*Det korrekte dæklag for armeringen sikres ved anvendelse af afstandsklodser. Selve afstandsklodsens kontakt til den omstøbte beton er i chloridholdigt miljø ofte adgangsveje for chloridindtrængning med rustangreb til følge. Disse forhold illustreres tydeligt på betonoverflader, hvor chloridholdigt smeltvand (tøsalt) ikke er ledt bort fra konstruktionen.*



## Betonnormen 1949

Revisionen af betonnormen fra 1930 blev påbegyndt i 1940. De første resultater vedrørende »betondelen« udkom i 1943 som foreløbige normer med besparelsesformål for øje. Revisionsarbejdet var færdigt i 1949 og de udkomne normer afløste da betonnormen fra 1930 og den foreløbige betonnorm fra 1943 samt vandbygningsnormen fra 1926.

### Betonsammensætning

Det kunne måske have været forventet, at man havde lagt vægt på, at der fremover blev anvendt federe betonblandinger på grund af dårlige erfaringer med betonnormen fra 1943. Det var dog ikke tilfældet. Der blev ganske vist indført mindstekrav til betons cementindhold; men de var lave set med vore øjne. Kravene var mindst  $200 \text{ kg/m}^3$  beton, når der blev anvendt hurtighærdende portlandcement. Blev der anvendt almindelig portlandcement, var mindstekravet  $225 \text{ kg/m}^3$ . For beton til skorstene var kravet mindst  $400 \text{ kg/m}^3$ , uafhængig af cementtypen.

I den foreløbige betonnorm fra 1943 var der indført krav til betons maksimale v/c-forhold. Det blev udbygget med en ret detaljeret tabel, som med vor tids betegnelser kunne have den på side 35 viste udformning for armeret beton.

Blev der udført sædvanlig kontrol, var det tilladt at se bort fra kravene til v/c-forholdene i moderat og passiv miljøklasse (gruppe 3, 4 og 5), når følgende betingelser var opfyldt:

*»... når der anvendes singelsbeton, hvis sætmål ikke overstiger 15 cm, og der anvendes en minimumsmængde almindelig portlandcement pr.  $\text{m}^3$  beton på henholdsvis 300 kg, 275 kg og 250 kg. Ved anvendelse af hurtighærdende portlandcement kan minimumsmængderne reduceres med 25 kg pr.  $\text{m}^3$  beton.«*

Det overordnede krav var, at

*»Blandingsforholdet og vandtilsætningen fastlægges således for de materialer, der skal anvendes, at betonen får den rette bearbejdelighed og den tilsigtede styrke og holdbarhed.«*

De toneangivende personer inden for betonteknologien var meget optaget af samspillet mellem v/c-forhold, kornkurve og cementindhold samt betonens økonomi og holdbarhed (DIF, 1950 b). Kommentarerne til 1949-normen (Meyer, 1950e) fortæller noget om, hvorledes disse grænseværdier er fastlagt:

*»De grænser, der i tabel I er angivet for det maksimale v/c, det er tilladeligt at anvende for de forskellige grupper af betoner, er fastsat dels efter nogle udenlandske bestemmelser af tilsvarende art, dels på basis af erfaringer med hensyn til hvilke v/c-værdier, der giver en beton, der er tæt for vand under et vist tryk, forudsat at betonen i øvrigt er tilstrækkeligt komprimeret. Under*

<i>Miljøklasse</i>	Betons maksimale v/c-forhold ved brug af	
	hurtighærdende portlandcement	almindelig portlandcement
<i>Aggressiv</i>		
1: Beton ved vandlinien i havvand eller ferskvand udsat for frost eller beton udstøbt under vand .....	0,75	0,55
2: Beton i aggressivt grundvand eller udsat for ensidigt vandtryk, røgangreb o.lign. eller beton helt under havvand..	0,80	0,60
<i>Moderat</i>		
3: Beton udsat for vejrliget eller helt omgivet af strømmende ikke-aggressivt vand .....	0,85	0,65
4: Indendørs beton i fugtige lokaler eller beton helt under terræn, men ikke udsat for aggressivt eller strømmende vand .....	0,90	0,70
<i>Passiv</i>		
5: Indendørs beton i tørre lokaler .....	0,95	0,75

*denne sidste forudsætning er det en erfarings sag, at beton er mere modstandsdygtig både mod mekaniske og kemiske påvirkninger, jo lavere v/c den er fremstillet med. Tages som eksempel beton helt under havvand, er det rimeligt at forlange den fremstillet med et forholdsvis lavt v/c, da man ellers kan frygte angreb af sulfater også i betonens indre – særlig hvis den er mager. Tabellen er naturligvis resultatet af et skøn, men giver en tiltrængt vejledning i valg af maksimum v/c af holdbarhedshensyn.«*

Senere står der (Meyer, 1950e):

*»Forbehold med hensyn til rust- og frostfare skulle man ikke behøve at tage, så længe man holder sig v/c-grænserne i tabel 1 efterrettelig eller efterviser lige så stor vandtæthed som for beton opført for den tilsvarende gruppe.«*

## Dæklagstykkelser

Der er ingen tvivl om, at normfædrene søgte at stille sådanne krav, at betons holdbarhedsmæssige kvalitet var tilstrækkelig til de miljøpåvirkninger, der eksisterede dengang. Derfor blev armeringens dæklagskrav uændret i forhold til 1930-normen for moderat og passivt miljø, men strammet i forhold til 1926-normen for vandbygningskonstruktioner. Den fulde ordlyd var:

*»Jernet skal anbringes i formene så nøjagtigt som muligt i overensstemmelse med tegninger og beregningsgrundlag, og der må drages omsorg for, at jernet under støbningen fastholdes på sin plads, og at det helt indhyles af betonen.*

*Under normale forhold skal jernet, også bøjler, dækkes af betonlag, hvis tykkelse ikke må være mindre end:*

- 1 cm i konstruktioner, hvis flader ikke er udsatte for vejrliget eller stærk fugtighed*
- 2 cm i konstruktioner, hvis flader er udsatte for vejrliget eller stærk fugtighed*
- 3 cm i udendørs brobjælker, brobuer, brosøjler, kransskinnedragere o. lign.*

*Hvor betonen er udsat for kemiske angreb, gøres det dækkende lag tykkere end angivet i ovenstående regler, eller der udføres særlig beskyttelse mod angrebet på jernet.«*

Der er et par forhold i disse krav, som man skal bemærke. Kravformuleringen har en tredeling, hvad 1930-normen ikke havde.

Den første del handler om, at entreprenøren skal anbringe armeringen i formene »så nøjagtigt som muligt« i overensstemmelse med tegningerne. Den løse formulering af tolerancekravet er videreført uændret i forhold til 1930-normen.

De to sidste afsnit handler om, hvorledes den projekterende skal vælge dæklaget under normale forhold, og når betonen er udsat for kemiske angreb. For skorstene blev dæklagstykkelsen fastsat til mindst 3 cm i betonnormens afsnit V. For vandbygningskonstruktioner var der i afsnit IV følgende regler:

*»Det dækkende betonlags tykkelse skal for flader i berøring med frit vand være mindst 3–5 cm, således at der benyttes desto større tykkelse*

- jo mere saltholdigt vandet er,*
- jo mere udsat betonen er for ydre mekanisk og kemisk påvirkning og*
- jo mere betonen er udsat for bølgeslag eller skiftende vandstand med deraf følgende vekselvis berøring med vand og luft.«*

Desuden var der følgende anbefaling:

*»Overfladen bør beskyttes mod eventuelle stærke mekaniske eller kemiske påvirkninger (slid eller angreb af svovlbrinte fra bunden). Skarpe kanter og hjørner bør undgås.«*

Skærpelsen i forhold til 1926-normen ligger i, at kravet til dæklagstykkelsen sættes op fra mindst 2 cm til mindst 3 cm, men stadigvæk med 5 cm som maksimalværdi.

Det, at kravene til dæklags mindstetykkelser var uændret i forhold til tidligere normer, blev kritiseret fra flere sider. Ingeniørforeningens arbejdsgruppe for beton og jernbeton afholdt således i 1949, umiddelbart efter udgivelsen af 1949-normen, et diskussionsmøde om normen (Plum, 1950a). Her kritiserede Søren Rasmussen kravene til dæklagene:

*»De fra de gamle normer overførte tal for dækning af jernene med mindst 1, 2 og 3 cm beton, tror jeg, trænger til en revision. Mange gamle bygninger bærer præg af, at jernene, trods overholdelse af disse bestemmelser, har ligget for tæt til overfladen.«*

I forbindelse med Alkaliudvalgets arbejde (nærmere omtalt side 50) blev det konstateret, at normens krav til dæklag ikke syntes at være tilstrækkelig. I Alkaliudvalgets vejledning 1 står der således (Plum, 1961):

*»Der er anledning til specielt at gøre opmærksom på, at reglerne i DS 411, side 26, om dæklagets tykkelse i mange tilfælde ikke vil være tilstrækkeligt.«*

I Alkaliudvalgets vejledning 2 uddybes dette (Jeppesen, 1961):

*»De navnlig i den første fjerdedel af århundredet anvendte meget tynde dæklag er uforsvarlige fra et vedligeholdessynspunkt.*

*Selv de i de nugældende jernbetonnormer (1949) anførte værdier må anses for knebne, og man skal anbefale at anvende følgende dæklagstykkelser:*

- 1,5 cm i konstruktioner, hvis flader ikke er udsat for vejrliget og stærk fugtighed*
- 3,0 cm i konstruktioner, hvis flader er udsat for vejrliget eller stærk fugtighed*
- 4,0 cm i konstruktioner, hvis flader er udsat for røgangreb o.lign. særlig stærke påvirkninger*
- 6,0 cm eller mere i konstruktioner i havvand.*

*Når man anbefaler at forøge dæklaget i indendørs konstruktioner fra 1,0 til 1,5 cm, skyldes det ikke erfaringer om afskalninger af sådanne indendørs dæklag, men derimod konstateringen af, at det ikke er muligt at placere og under støbningen fastholde armeringen så nøjagtigt, at der er rimelighed i at angive et så tyndt dæklag. Vil man ende med et dæklag på mindst 1,0 cm må man kræve, at armeringen anbringes med en noget større afstand fra forskallingen og i øvrigt drage omsorg for, at den er så godt fastholdt i denne som muligt.*

*Det skal fremhæves, at det naturligvis ikke nytter noget at gøre dæklagene tykkere, hvis man ikke udfører dem af en god og tæt beton.*

*De anbefalede dæklagstykkelser refererer til erfaringer, der er indhøstet med beton støbt på arbejdspladsen, . . .«*

Det har senere, ved vurdering af dæklagsskader, været diskuteret, hvorledes man skal tolke vendingen »betonlag, hvis tykkelse ikke må være mindre end 2 cm.« Der er ingen fortolkning i kommentarerne (Meyer, 1950e) til 1949-normen. Man skal op til 1973-normens vejledning for de der givne dæklagskrav for at forstå, hvad der kan være ment. Der anvendes nemlig samme vending i 1973-normen, og vejledningen giver der følgende fortolkning:

*»Under forudsætning af at afstandsholderne er anbragt tilstrækkeligt tæt, kan de i normens tabel 7.2.7 angivne talværdier benyttes som mål for holdernes tykkelse.«*

Føres dette tilbage på 1949-normen, betyder det, at dæklagskravene skal opfattes som planlægningsmål for afstandsklodser, blot disse afstandsklodser er anbragt passende tæt. Der kom senere under Normnyt i Ingeniøren 1981-07-03 en ændring af vejledningsteksten, men indtil 1981 må vendingen »betonlag, hvis tykkelse ikke må være mindre end 20 mm« opfattes som målet på afstandsklodserne. De opnåelige dæklag er da tykkelsen af den valgte afstandsklod minus tolerancen. En kendelse (Voldgift, 1985) fastslår i øvrigt dette princip.

Man kan også gå ind i det undervisningsmateriale, der fandtes for byggepladsens mandskab. Her kan man fx læse, hvorledes armeringen skal anbringes i en dækform (Dyrberg, 1954):

*»Jernene holdes i afstand fra forskallingen med betonstøbte klodser, almindeligvis 1 cm tykke, og man må iagttage, at disse klodser ikke knuses af færdslen på dækket, inden støbningen begynder. Hvis dette alligevel sker, må man lægge nye klodser under jernene, idet man løfter disse med et koben.«*

Der kan næppe være tvivl om, at 1949-normens krav om dæklag blev opfattet som planlægningsmål. Dette fremgår også af et andet afsnit (Dyrberg, 1954):

*»En meget almindelig fejl på en byggeplads er, at det opbøjede jern kommer til at ligge for langt nede i betonen, måske 3–4 cm i stedet for 1–2 cm fra overkanten, således som det i reglen er meningen, det skal ligge. Arbejderne er nemlig bange for at få jernene for »højt op« således at et opbøjet jern kommer til at stikke op over støbningens overflade, og så kniber de uvilkårligt på profilet. Af samme grund laves bøjlerne til en søjle eller til en drager ofte for snævre for ikke at få søjlejernene eller dragerjernene for langt ud i hjørnerne. Det er nødvendigt at påse, at dette ikke finder sted, da det færdige jernbetonarbejde ellers bliver endog betydeligt svagere, end det skulle være efter tegningerne og beregningerne.«*

I SBI-anvisning 41 (SBI, 1958), der fortrinsvis henvendte sig til rådgivende ingeniører, omtales toleranceproblemet for armeringens dæklag ikke. Der er ellers en udførlig beskrivelse af, hvorledes man kan fastsætte betonens proportioneringsstyrke således, at man kan opnå godkendelse af betonens styrke



efter reglerne i DS 411 med en given, lille påtalerisiko. Problematikken er el- lers ens for tilstræbt middelstyrke og tilstræbt middeldæklag. Man finder føl- gende retningslinier for valg af dæklagstykkelse:

*»Indendørs jernbetondæk i boligbyggeri kan efter normen DS 411 nøjes med 1 cm tykt betonlag som beskyttelse uden på de yderst liggende ar- meringsdele; over vaskekældre, hvis loft udsættes for vandsprøjt og em, kun- ne man i særlige tilfælde overveje at gøre dæklaget 2 cm tykt, dels for at imø- dekomme en streng fortolkning af normernes bestemmelse om betonkon- struktioner, som udsættes for stærk fugtighed, dels for at undgå for tidlige og hyppige reparationer på grund af rustsprængninger; en sådan udførelse er dog ikke almindelig. Altanpladers dæklag skal være mindst 2 cm tykt.«*

At der ikke regnes med tolerancer fremgår af et senere afsnit (SBI, 1958) om armering:

*»Armeringen holdes i stilling ved betonbrikker af den foreskrevne tykkel- se; disse brikker er i reglen forsynede med en indstøbt tråd til fastbinding af jernet og bør anbringes under krydsningspunkter for de sammenbundne jern. At nøjes med at løfte jernet fri af forskallingen under selve støbningen giver uundgåeligt et dårligt resultat, fordi jernet herved enten løftes for meget eller for lidt, hvorved man hverken opnår den foreskrevne nyttehøjde eller dæklagstykkelse.«*

## **Elementbyggeri**

Medens 1949-normen var gældende, blev grundlaget for elementbyggeriet skabt. Denne betonnorm var ikke umiddelbart egnet for elementbyggeri. Den tog nemlig særlig sigte på almindeligt forekommende beton- og jernbeton- konstruktioner inden for hus-, bro- og vandbygning samt skorstene. Betonele- mentbyggeriet var ikke omfattet af denne norm, fordi det var forudsat, at jernbetonkonstruktionerne var fremstillet monolitisk og normalt armeret i mindst to retninger med jern, der blev fuldstændig indstøbt i beton.

Der var i betonnormen helt klart ikke tænkt på konstruktionsprincipper som elementbyggeri. I kommentarerne (Meyer, 1950e) til 1949-normen er det- te uddybet:

*»Endvidere udelukker definitionen også hulstensdæk, der ikke kan kaldes en monolitisk konstruktion, særlig når der kun anvendes armering i én ret- ning. Også konstruktioner af færdigstøbte jernbetonelementer, der ikke sam- menstøbes og forbindes med stødjern er udelukket.«*

Betonnormen fra 1949 var imidlertid så fremsynet, at den tog hensyn til ud- viklingen. Den havde indført en »undvigeparagraf«:

*»Afvigelser fra de i disse normer angivne regler og beregningsmåder kan tillades, når afvigelse- rnes berettigelse dokumenteres på betryggende måde.«*

Netop med undvigeparagraffen havde man søgt at tage højde for den kommende udvikling på byggeområdet. Det overordnede krav står angivet i betonnormens pkt. 37 for armeret beton. For uarmeret beton, pkt. 45, siges:

*»Nye konstruktioner, som ikke var kendt eller gennemprøvet ved disse normers udgivelse, skal have normal sikkerhed. Sikkerheden skal eftervises ved beregning og ved fyldestgørende forsøg.«*

Betonens holdbarhed er ikke direkte nævnt. Indirekte er nye betonkonstruktioners holdbarhed imidlertid en konsekvens af sikkerhedens bevarelse i bygværkets stipulerede levetid. Senere i kommentaren (Meyer, 1950e) står der noget om de intentioner, som normudvalget havde:

*». . . sørge for, at normerne ikke spærrer vejen for ekstraordinære løsninger af specielle opgaver, hvor kyndige teknikere selv kan og vil tage et videregående ansvar. Samtidig har man tilstræbt at give de kontrollerende myndigheder rimelige midler i hænde til at hindre uforsvarlige konstruktioner.*

*Om disse bestræbelser er lykkedes, kan kun fremtiden vise, når erfaringerne med de nye normer begynder at vise sig. Men at en rimelig frihed koster noget og ikke er det nemmeste, skal være indrømmet.«*

Efter den anden verdenskrig, hvor byggeriets produktivitet skulle øges drastisk, blev dansk betonelementbyggeri udviklet med undvigeparagraffen fra betonnormen af 1949 i hånden. Mange nye metoder og principper blev taget i brug.

Rationelle betonelementfabrikker påtog sig hovedmassen af dansk betonbyggeri. På fabrikkerne blev betonen fremstillet under bedre vilkår end på en åben byggeplads, vibrering af beton blev standard og varmhærdning blev almindelig. Rådgivende ingeniører, bygherrer, forskningslaboratorier, myndigheder og byggeinstitutioner var med i denne udvikling. Det var typisk for betonelementindustrien, at arbejdets udførelse og kontrollen hermed var bedre end man på noget andet tidspunkt i byggeriets historie havde oplevet. Derfor kunne man også udnytte betonen bedre, end det normalt skete i det traditionelle betonbyggeri. Begejstringen for de nye ideer, metoder og principper kom til udtryk i den tekniske litteratur, fx (Manniche, 1952):

*»For det andet kan man opnå en helt anden kvalitet af jernbetonen, når den fremstilles på fabrik, hvor man er i stand til at overvåge hele fremstillingsprocessen med omhyggeligt kontrollerede materialer, behandling af betonen med effektiv vibrationsteknik samt omhyggeligt udførte forme, hvortil kommer, at fabrikationen er uafhængig af vejrliget, der spiller så stor rolle på byggepladsen.«*

Typisk for den tid er således også følgende citat (Gravesen, 1952):

*»Ved fabrikationens tilrettelæggelse og ved udformningen af de pågældende konstruktioner er der arbejdet på grundlag af erfaringer, som igennem en årrække er gjort med chokbetonbyggeri i andre lande.«*

Senere i artiklen står der:

*»På grund af den pålidelige komprimeringsmetode har chokbetonprodukter stor holdbarhed, også i spinkle dimensioner. Der anvendes frostfaste støbmaterialer, og armeringen holdes på plads i støbformen med specielle afstandsklodser. Som følge af betonens tæthed kan 10–15 mm dæklag give tilstrækkelig rustbeskyttelse også ved udendørs konstruktioner.«*

Betonnormen krævede imidlertid, at armeringen, også bøjler, *»under normale forhold«* blev dækket af betonlag, hvis tykkelse ikke var mindre end 20 mm i konstruktioner, hvis flader blev udsatte for vejrliget eller stærk fugtighed.

Man skal imidlertid hæfte sig ved betegnelsen *»under normale forhold«* i betonnormen fra 1949. Det normale efter 1949-normen var, at beton blev støbt på stedet. Begrebet elementbyggeri var som tidligere omtalt ikke omfattet af 1949-normen.

Det, at man i slutningen af 1950'erne og i 1960'erne begyndte at producere betonelementer under gunstige betingelser på fabrik, hvor de bedste produktionsmetoder blev taget i brug, blev betragtet som langt bedre end *»under normale forhold.«* Mange betonelementfabrikker og projekterende ingeniører nedsatte bevidst dæklagstykkelsen til 15 mm i stedet for de krævede 20 mm for beton støbt på stedet. Der blev ikke lagt skjul på det, for det var ofte en nødvendighed, da mange elementdetaljer slet ikke havde plads til 20 mm dæklag. Alle ingeniører havde på DTH lært, at den beskyttende effekt af et dæklag afhænger lige så meget af betonens kvalitet som af dæklagets tykkelse. Det fremgår også af mange indlæg i den tekniske litteratur, (Efsen, 1948) og (Meyer, 1950e).

Det var med viden om, at beton støbt på fabrik var bedre end beton støbt på byggeplads, at man nedsatte armeringens dæklag. Det var jo en logisk konsekvens af det, man havde lært. Alle var dog ikke enige. I Alkaliudvalgets vejledning nr. 2 (Jeppesen, 1961) står der således:

*». . . , og man kommer derfor let ind på det spørgsmål, om man fx ved udførelse af præfabrikerede jernbetonelementer vil være i stand til at udstøbe en så tæt beton, at det vil være forsvarligt i sådanne tilfælde at gøre dæklagene tyndere end her angivet.*

*Dette er muligt, men man vil tilråde forsigtighed selv ved fabriksstøbte elementer, indtil der måtte komme til at foreligge virkeligt rationelt gennemførte undersøgelser og langtidsforsøg, der giver basis for dette.«*

Forskningsresultater og praktisk erfaring har bragt os videre. En væsentlig nedsættelse af dæklaget i elementbyggeriet var en naturlig konsekvens af betonnormen, for man nedsatte jo  $v/c$ -forholdet fra de krævede 0,85 ved anvendelse af hurtighærdnende portlandcement til ca. 0,55 og undertiden helt ned til 0,50 på de fleste betonelementfabrikker. Vi ved ikke, hvorledes man den-

gang fastsatte de 15 mm, som mange fabrikker anvendte som tilstræbt dæklag og som i praksis derfor lå på ca.  $15 \pm 5$  mm på grund af tolerancen.

Tænker man sig, at man har sat kvaliteten (tætheden) omvendt proportional med  $v/c$ -forholdet, skulle man altså teoretisk kunne forvente, at et dæklag på 20 mm med betonnormens krav om betonkvalitet vil modsvare et dæklag  $c_s$ , som med fabrikkernes forbedrede betonkvalitet kunne nedsættes til en tykkelse, der er

$$c_s = 20 \cdot 0,55 / 0,85 = 13 \text{ mm}$$

I dag ved vi (Poulsen, 1985), at carboniseringsdybden er proportional med størrelsen

$$v/c - 0,35$$

under ellers ens betingelser og til samme tid. Det vil svare til, at normens krav om et  $v/c$ -forhold under 0,85 kombineret med et dæklag over 20 mm kan modsvares af et  $v/c$ -forhold på højst 0,55 med et dæklag  $c_s$  på mindst

$$c_s = 20 \frac{0,55 - 0,35}{0,85 - 0,35} = 8 \text{ mm}$$

Derfor var de beslutninger, der blev truffet på elementfabrikkerne med hensyn til dæklag både logiske og korrekte samt helt i betonnormens ånd. Andre forhold som chloridindtrængning og alkalikiselreaktioner har dog forstyrret billedet. Det er forhold, som man først senere er blevet opmærksom på.

Der er tendens til i dag at glemme, at man havde en situation, hvor byggeprisen skulle holdes nede. Der var simpelt hen ikke råd til at følge de krav, der var gældende for beton støbt på stedet. Beton, der var støbt på fabrik og derfor var en helt anden kvalitetsbeton, skulle gøre byggeriet billigere; derfor blev den udviklet. Ganske vist kan værdier for  $v/c$ -forhold fra 0,50 til 0,55 ikke imponere nogen i dag, hvor vi har vandreducerende tilsætningsstoffer. Den gang var det imidlertid meget imponerende for husbygningskonstruktioner. Det var betonnormens strengeste krav, gældende for beton i vandlinien i havvand. Det blev derfor med rette betragtet som det helt store fremskridt.

Når man gennemser konstruktionstegninger fra den tid, vil man konstatere mange former for afvigelser fra de krav, der ifølge 1949-normen blev stillet til beton støbt på stedet under normale forhold. Dette kan fx være:

- Specificering af dæklag, hvis tykkelse var mindre end normeret for beton in-situ.
- Krav om, at de krævede dæklag kun gjaldt for hovedarmeringen.
- Detaljer, hvor det angivne armeringsarrangement ikke tillod dæklag, der blev som normeret for beton in-situ.

Der var dog også tegninger, som fulgte normens regler og specificerede dækklag på 20 mm for beton, der var udsat for vejrliget.

Efter 1949-normen skal armeringen anbringes i formene så nøjagtigt som muligt i overensstemmelse med tegningerne. Begrebet »så nøjagtigt som muligt« blev ikke defineret i 1949-normen. Betonelementfabrikkerne havde imidlertid interne manualer, som angav, hvorledes armeringen skulle udføres. Heri indgik også tolerancer. Tolerancer på dækklag var ofte  $\pm 5$  mm på dækklag i simple plader, bjælker og søjler.

Alle disse forhold er ikke nedfældet i regelsæt for elementbyggeriet. Der eksisterer dog endnu enkelte manualer fra den tid. Hvorledes de vurderes i dag, fremgår bedst af en kendelse (Voldgift, 1985), hvori Voldgiften udtaler:

*»Der var ifølge tegninger foreskrevet, at armeringens dækklag skulle være 2 cm svarende til normens krav. Der må efter voldgiftsrettens mening gives indklagede medhold i, at det foreskrevne, dækkende betonlag måtte forstås som et planlægningsmål, således at visse tolerancer i praksis kunne accepteres. Når der er tale om præfabrikerede elementer udført under forhold med bedre kontrolmuligheder og støbt beton med større styrke og tæthed og med lavt vandcementtal og derved lavere karbonatiseringshastighed, vil et mindre dækklag kunne accepteres efter dagældende norm. Herefter findes der kun at foreligge en mangel, hvor dæklaget ikke er mindst 15 mm.«*

Hermed fastslås, at det anses for muligt at armeringens dækklag i elementbyggeri kan udføres med tolerancer på  $\pm 5$  mm ud fra de tilstræbte værdier. Man skal helt op til 1984-normen, før der ellers siges noget konkret om størrelsen af tolerancer på dækklag. I vejledningen til 1984-normen stk. 6.4.1.1 siges det, at tolerancetillæg ikke bør vælges mindre end 5 mm.

Det kan måske anses som muligt at overholde tolerancegrænser på  $\pm 5$  mm dækklag på armering i elementbyggeri for så vidt angår de simple konstruktionselementer som bjælker, søjler og vægge. For mere komplicerede detaljer, fx i bjælkeender og konsoller med tætliggende og kompliceret armering, må der nok regnes med større tolerance.

For tiden findes der ikke andre kendelser, der belyser, hvorledes man skal fortolke og vurdere de »uskrevne normer«, efter hvilke elementbyggeriet blev projekteret og opført. Der er dog indgået flere forlig i forbindelse med dækklagsskader. De underbygger overstående kendelse, men føjer ikke nyt til.

### **Normrevisionen 1959–73**

Forskellige forhold gjorde, at revision af 1949-normen følte påkrævet efter ca. 10 års anvendelse. Elementbyggeri var efterhånden blevet dominerende uden at være omfattet af andet end »undvigeparagraffen« i betonnormen. Alkaliudvalgets arbejde under SBI/ATV havde ført til nye erkendelser på holdbarhedsområdet. Kontrolarbejdet på elementfabrikker og fabrikker for

færdigblandet beton var dårlig tjent med de prøvningsmetoder og de kontrolprincipper, der hørte til betonnormen fra 1949. Endelig følte det mere og mere påkrævet, at der blev indført nye dimensioneringsmetoder baseret på rationel brudberegning og reelle sikkerhedsprincipper efter partialkoefficientmetoden.

I upublicerede kommentarer (DIF, 1968) til forslag til afsnittet om materialer og udførelse i norm for beton- og jernbetonkonstruktioner angives følgende anledning til det igangsatte revisionsarbejde:

*»I perioden, efter at DS 411 trådte i kraft i 1949, var der sket en betydelig udvikling af nye produktions- og byggemetoder (færdigblandet beton, præfabrikation, forspændt beton og montagebyggeri), som ikke i tilstrækkelig grad var tilgodeset i DS 411.*

*Den stadigt voksende indsigt i betontechnologien havde skabt mulighed for og ønske om at kunne forlade de stive receptkrav til delmaterialer, betonsammensætning mv. og i stedet for give de udførende en større frihed til at sigte på opfyldelse af kvalitetskrav til det færdige produkt.*

*Der var et udtalt ønske om, at normerne kun skulle indeholde de nødvendige krav, medens informativt stof skulle udgå eller samles i et særligt afsnit af blot vejledende karakter.*

*Der var et udtalt ønske om, at kravformuleringen blev gjort entydig og knyttet til veldefinerede prøvningsmetoder og moderne metoder for kvalitetsvurdering på statistisk grundlag.«*

## Betonsammensætning

Der arbejdes med klasseinddeling fra revisionens start. Opdeling i materialeklasser skal sikre en rimelig holdbarhed i afhængighed af de ydre påvirkninger og konstruktionernes art. Opdeling i udførelsesklasser skulle tage hensyn til de udførendes kontrolmuligheder. Endelig søgte man at tage hensyn til miljøpåvirkningen ved opdeling i miljøklasser. Der var dog fra starten ikke tale om betegnelsen »miljøklasser.« Ellers var det funktionskravene, der dominerede sammen med en målsætning om, at der ikke måtte være anført et krav, uden at der var en prøvningsmetode til rådighed. I et udkast til normforslag, dateret 1965-03-20, ser man således følgende krav:

*»Betonens evne til at beskytte armeringsjern mod korrosion eftervises ved accelereret prøvning i henhold til prøvningsmetode 43.«*

Det lykkedes ikke for udvalget at udvikle en sådan prøvningsmetode. Af et referat dateret 1967-08-15 fremgår det, at »man enedes om at lade dette afsnit udgå, da korrosion afhænger af mange andre forhold end betonens egenskaber.« Ved afslutning af udvalgets arbejde fandtes der intet om korrosion i normudkastet. Udkastet til vejledningen, dateret april 1971, indeholder derimod følgende oplysning:

*»Betonens korrosionsbeskyttende evne er i første række et spørgsmål om betonens permeabilitet, dæklagstykkelsen og størrelsen af evt. revner. Velkomprimeret beton med et v/c-forhold mindre end 0,6 kombineret med dæklagstykkelser på 10–50 mm afhængigt af konstruktionens art og de klimatiske påvirkninger og omhyggelighed med udførelsen vil normalt give tilstrækkelig korrosionsbeskyttelse.«*

Efter behandling i det repræsentative udvalg og efter den offentlige høring gled ovenstående oplysninger dog ud. Tilbage stod da kun talmæssige krav til betonens v/c-forhold på følgende måde:

*»I materialeklasse I skal v/c-forholdets karakteristiske værdi være under 0,55. I materialeklasse II skal v/c-forholdets karakteristiske værdi være under 0,70. Dersom betonen skal være tæt over for ensidigt vandtryk, skal den karakteristiske værdi af v/c-forholdet dog være mindre end 0,60.«*

Efter behandling i det repræsentative udvalg og efter den offentlige høring blev klasseinddelingen ændret. Desuden blev det strengeste krav om karakteristisk v/c-forhold på max. 0,55 slækket til et krav om karakteristisk v/c-forhold på max. 0,60. Normen fra 1949 havde som strengeste krav et maksimalt v/c-forhold på 0,55 (ikke karakteristisk værdi).

## Dæklagstykkelser

I udkastet til normforslag, dateret april 1971, findes der følgende forslag til mindste dæklag for armeringen, herunder bøjlerne, gældende for kontrolklasse A og B:

10 mm, når betonen er dækket mod vejrlig og fugtighed.

30 mm, når betonen er udsat for vejrlig eller fugtighed.

40 mm, når betonen er udsat for saltvand, optøningskemikalier mv.

For kontrolklasse C var der et tillæg på 10 mm. I forslaget til vejledningen hertil, dateret april 1971, er der følgende oplysninger:

*»Dæklagets vigtigste funktion er at hindre nedbrydning af betonen ved korrosion i armeringen. Tætheden af dæklaget er derfor vigtigere end dets tykkelse og kan eventuelt tilvejebringes ved beklædning med andre materialer. De i normen foreskrevne dæklagstykkelser forudsætter en tæt beton.*

*Når der støbes direkte mod jord, bør det dækkende betonlag forøges med mindst 5 cm. Dette ekstra dæklag kan erstattes med et 5 cm tykt renselag, som må være afbundet, før armeringen udlægges.*

*Hvor betonen er udsat for påvirkning fra aggressive væsker eller luftarter, bør dæklaget forøges.*

*Særlige brandtekniske forskrifter kan stille specielle krav til dæklagets tykkelse.«*

Efter behandling i det repræsentative udvalg og efter den offentlige høring blev kravene reduceret til hhv. 10, 20 og 30 mm med et tillæg på 5 cm i den klasse, der forudsatte mindst kontrol.

### **Betonnormen 1973**

Der var i revisionen af 1949-normen lagt op til drastiske ændringer, både med krav til betonsammensætning og krav til dæklagstykkelser. Selv om revisionsforslaget ikke kunne passere det repræsentative udvalg, så blev der dog tale om visse forbedringer med hensyn til beskyttelse af armering imod korrosion.

#### **Betonsammensætning**

Der er tre ændringer i forhold til tidligere normer, der har fået betydning for tætheden og holdbarheden af armeringens dæklag. Der er de to normkrav, jvf. pkt. 8.3.2:

*»Armeret betons karakteristiske v/c-forhold skal være mindre end 0,6 i miljøklasse A og mindre end 0,7 i miljøklasse B.*

*Hvis betonens overflade kan blive udsat for vekselvis frysning og optøning i vandmættet tilstand, skal der anvendes et luftindblandende tilsætningsstof.«*

Desuden er der en anbefaling i vejledningen, ad pkt. 8.3.2:

*»Såfremt frostspringere i betonens overflade skønnes at frembyde korrosionsfare for armeringen, tilrådes det foruden luftindblanding at anvende grusmaterialer med et begrænset indhold af ikke-frostfaste korn.«*

Det skal bemærkes, at kravet til det maksimale, karakteristiske v/c-forhold efter 1973-normen gøres uafhængig af cementtypen.

Kravene til betonens v/c-forhold synes ikke at have voldt fortolkningsvanskeligheder. Det skyldes måske, at det ifølge betonnormen, jvf. pkt. 8.3.2, blot kræves, at betonens v/c-forhold bestemmes ved, at der føres kontrol med de tilsatte mængder cement, vand og grus samt med grusets vandindhold. Det skal sammenholdes med, at vejledningen anbefaler at fastlægge betonens blandingsforhold således, at det tilstræbte v/c-forhold bliver ca. 0,1 mindre end den specificerede værdi. Det har næppe voldt vanskeligheder ved anvendelse af vandreducerende tilsætningsstoffer.

Derimod har luftindblanding og frostspringere givet anledning til visse fortolkningsvanskeligheder. Dette er der nærmere redegjort for i afsnittet om frostfarlige sten og i afsnittet om frostpåvirkning.

#### **Dæklagstykkelser**

Ved sammenligning med dæklagskravene i 1949-normen må man konstatere, at der er tale om ændringer, selv om de numeriske krav faktisk er uændrede.



Ændringerne findes i formuleringen og i det forhold, at der nu arbejdes med tre kontrolklasser. Kravene er, at armeringsstænger, herunder også bøjler, under normale forhold skal dækkes af et betonlag, som mindst er som angivet i følgende tabel:

Miljø- klasse	Kontrolklasse			Max., karakteristisk v/c-forhold
	I	II	III	
A	30 mm	30 mm	35 mm	0,6
B	20 mm	20 mm	25 mm	0,7
C	10 mm	10 mm	15 mm	ej krav

Ikke alle var tilfredse med de dæklagstykkelser, der her var vedtaget. I Beton-Bogen (CtO, 1979) kan man således læse:

*»Med betonens carbonatiseringshastighed in mente kan det dog anbefales at anvende en dæklagstykkelse på 30 mm i alle udendørs, fugtige konstruktioner i miljøklasse B.«*

Disse bemærkninger bortfaldt ved den senere revision af Beton-Bogen (CtO, 1985a).

Begrebet »normale forhold« er ikke defineret i normen eller dens vejledning. Man må dog gå ud fra, at ubeskyttet beton i de miljøklasser, normen omfatter, dækker det, der betegnes »normale forhold.« Det betyder så, at »unormale forhold« skulle omfatte særligt aggressive miljøer (større dæklag og/eller tættere beton) og beton med særlig overfladebeskyttelse (mindre dæklag og/eller mindre tæt beton). I tidligere betonnormer havde man særlige, om end ikke klart definerede regler i sådanne tilfælde. Det er imidlertid ikke nødvendigt her. Hvis en effektiv beskyttelse af overfladen svarer til forskellen mellem to miljøklasser, så vil man i projektet naturligt anvende en miljøklasse, der er mindre aggressiv end for ubeskyttet beton. Der foreligger dog ingen fortolkning fra normudvalgets side af dette forhold.

Man skal også hæfte sig ved det, der er udeladt fra tidligere betonnormer. Hidtil skulle entreprenøren indlægge og fastholde armeringen som angivet i projektet; det var hovedkravet. Den projekterende havde således ansvaret (alene) for, at de dæklag, der var angivet i projektet var i overensstemmelse med normkravene.

Med 1973-normen ændres dette. Det må nu betragtes som den projekterendes opgave at fastsætte hvilke miljøklasser, der skal regnes gældende for de enkelte lokalafsnit i en betonkonstruktion. De udførende skal herefter sikre, at dæklagene er konditions-mæssige i henhold til den af projekterende valgte miljøklasse, uden at der nødvendigvis findes et detaljeret projektmateriale eller en motivering for valg af miljøklasse.

Ovennævnte ændring i forhold til 1949-normen tilgodeser blandt andet den måde, hvorpå de fleste betonelementer projekteres. Ofte overlades dimensionering af betonelementers armering til elementfabrikken. Den projekterendes valg af miljøklasse og eventuelt supplerende krav er da afgørende for elementfabrikkens valg af betonens delmaterialer, sammensætning og efterbehandling samt armeringens dæklag. Som regel sender elementfabrikken tegningerne til godkendelse hos de projekterende ingeniører. Det kan ske med en ordlyd i stil med følgende:

*»Denne tegning beder vi Dem venligst returnere med Deres godkendelse eller eventuelle kommentarer.«*

Tolerancekravet er ikke berørt i normteksten. Som noget nyt havde man i 1973-normen indført begrebet en egenskabs karakteristiske værdi. Dette begreb blev defineret på følgende måde:

*»Ved den karakteristiske værdi forstås i denne norm normalt 10 pct.-fraktilen, dvs. den værdi under hvilken 10 pct. af måleresultaterne vil befinde sig ved uendeligt mange målinger.«*

Det var størrelser såsom materialestyrker eller bæreevne, der blev udtrykt talmæssigt ved en karakteristisk værdi. Betonnormen opererede dog også med begrebet karakteristisk værdi på enkelte andre områder end styrkeområdet.

Armeringsdæklag, der er en betydningsfuld parameter for armerede betonkonstruktioners holdbarhed (bæreevns bevarelse), kunne være en egenskab, hvor kravene skulle formuleres som krav til dæklagens karakteristiske værdier. Hverken normtekst eller vejledningen udtrykker dog noget herom. I vejledningen er der imidlertid følgende anbefaling af, hvorledes dæklagskravet kunne opfyldes:

*»Under forudsætning af at afstandsholderne er anbragt tilstrækkeligt tæt, kan de i normens tabel 7.2.7 angivne talværdier benyttes som mål for holdernes tykkelse.«*

Denne vejledning kan dog næppe siges at være entydig. Derfor gav det anledning til fortolkningsproblemer.

Betonelementkontrollen udarbejdede således i 1980 en BEK-vejledning nr. 203-01 om styring og kontrol af dæklag. Det viste sig ved dette arbejde, at der opstod fortolkningsvanskeligheder, når betonnormens krav og vejledningens anbefalinger skulle omsættes til en entydig og operationel BEK-vejledning. Derfor blev det permanente udvalg vedrørende betonkonstruktioner anmodet om en uddybning af dæklagsbestemmelserne i DS 411 udgave 2. Denne uddybning blev offentliggjort i Ingeniøren 1981-07-03 med følgende ordlyd:

*»I henhold til normens punkt 7.2.7 »skal armeringsstænger, herunder også bøjler, dækkes af et betonlag, hvis tykkelse for kontrolklasse I og II mindst skal være som angivet i tabel 7.2.7.« I vejledningen til samme punkt er angit-*

vet: »Under forudsætning af, at afstandsholderne er anbragt tilstrækkeligt tæt, kan de i normens tabel 7.2.7 angivne talværdier benyttes som mål for holdernes tykkelse.«

Hertil skal normudvalget udtale følgende:

Normtekstens angivelse af, at dæklagets tykkelse »mindst« skal være som angivet i tabel 7.2.7 »skal principielt forstås på den måde, at dæklagets karakteristiske værdi skal være større end den relevante talværdi. For at opnå dette er det i praksis nødvendigt at anvende et basismål for dæklaget, som er større end mindstekravet i tabellen. Ved fastlæggelsen af basismålet skal der tages hensyn til tolerancer på eksempelvis armeringsplacering og formål. Den citerede vejledningstekst er uheldigt udformet dels fordi udtrykket 'tilstrækkeligt tæt' er upræcist, og dels fordi vejledningsteksten i praksis ofte medfører, at normkravet utilsigtet omgås. I forbindelse med den igangværende normrevision vil vejledningsteksten derfor blive ændret.

Det skal endvidere præciseres, at det er basismålet for dæklaget – og ikke mindstekravet – der benyttes til bestemmelse af de tværsnitsdimensioner (fx nyttehøjde), der indgår i en styrkeberegning. Derimod er partialkoefficienterne beregnet på at imødegå den situation, at dæklaget undertiden kan overskride basismålet med den halve tolerance.«

## Miljøklasser

Ved gennemgang af skadesager har det vist sig, at valg af forkert miljøklasse kan forekomme trods betonnormens definition og vejledningens eksempel-samling. Der kan være trivielle fejltagelser som fx, at armerede betonkonstruktioner nær den jyske vestkyst anbringes i miljøklasse B som andre steder i landet, selv om det i vejledningen klart står, at der er tale om miljøklasse A. Det eneste uklare ligger i vendingen »nær den jyske vestkyst.« En telefonfore-spørgsel om projekter, udført efter 1973- normen, og opført i en havneby på vestkysten, viste, at kravet om dæklag på 20 mm var dominerende. Et enkelt byggeri var projekteret med 25 mm dæklag. End ikke konstruktioner, projekteret hos den lokale betonelementfabrik havde 30 mm dæklag som norm-mæssigt krævet.

En konstruktion, hvor man kan finde fejl i den projekterendes valg af miljøklasse, er fx ubeskyttede altangangskonstruktioner. Det er således en projektfejl, hvis en altangangskonstruktion er anbragt i miljøklasse B. Der er tale om en udendørs betonbelægning, som efter vejledningen til 1973-normen er anbragt i miljøklasse A. Hvis der yderligere er mulighed for, at der vil blive anvendt optøningskemikalier, må 1973-normen fortolkes således, at der er tale om mere aggressivt miljø end svarende til miljøklasse A.

Dette kan begrundes med, at vejledningen til afsnit 2.3 i 1973-normen udtaler, at normen forudsætter, at variationen i fx en betonkonstruktions omgi-

vende vand højst svarer til det, der almindeligvis forekommer i Danmark. Ved større udsving fra det normale anbefaler vejledningen, fx ved påvirkning med optøningskemikalier, at der tages hensyn til dette ved særlige, forebyggende foranstaltninger, såsom forøgelse af dæklagstykkelsen og yderligere begrænsning af  $v/c$ -forholdet i forhold til normens krav eller ved anvendelse af membraner.

En telefonforespørgsel om projekter til altangangskonstruktioner afslørede, at den anførte anbefaling i vejledningen til afsnit 2.3 i 1973-normen ikke altid følges.

### Betonnormen 1984

Revisionen af 1973-normen begyndte i 1979. Årsagen til, at revision blev aktuell var, at der skulle indføres fælles sikkerhedsbestemmelser (DS 409), og at der skulle indføres et afsnit om brandteknisk dimensionering. Ellers skulle den reviderede betonnorm bygge på 1973-normen i alle principielle forhold, idet der dog skulle tages hensyn til ny viden.

Der forelå ikke dårlige erfaringer med 1973-normen for så vidt angår betons holdbarhed. Der var ganske vist konstateret skader på beton, sammensat og støbt efter 1973-normen. Efter det oplyste kunne man dog i disse tilfælde pege på, at normens krav og vejledningens anbefalinger ikke alle var blevet fulgt.

Da 1973-normens krav til dæklagstykkelser havde givet anledning til fortolkningsvanskeligheder, var det naturligvis nødvendigt at revidere og derved tydeliggøre dæklagskravene i 1984-normen.

### Betonsammensætning

En af forudsætningerne for normrevisionen var, at den nye udgave skulle bygge på den foregående udgave i alle principielle forhold, idet der dog i muligt omfang skulle tages hensyn til igangværende nordisk og internationalt arbejde. Det medførte en skærpelse af kravene til de maksimale  $v/c$ -forhold i de forskellige miljøklasser. Samtidig blev der indført krav om en minimal værdi af den foreskrevne karakteristiske trykstyrke efter 28 modenhedsdøgn. Kravene til armeret beton og spændbeton var følgende:

Miljø-klasse	Maksimal værdi af $v/c$ -forhold	Minimal værdi af $f_{ck}$
Aggressiv	0,50	30 MPa
Moderat	0,60	25 MPa
Passiv	ej krævet	15 MPa

Kravene blev stillet, for at der for armeret beton kunne opnås tilstrækkelig tæthed, således at armeringen blev sikret imod korrosion. Kravene er derfor ikke gældende for uarmeret beton.

Kravene kan ikke direkte sammenlignes med de tilsvarende krav til  $v/c$ -forhold i betonnormen fra 1973. Vurdering af kontrolresultater blev nemlig også ændret, idet DS 423.1 indførte en ny beslutningsregel for betons trykstyrke. Der er dog alt i alt tale om en skærpelse af kravene i betonnormen fra 1984.

### Dæklagstykkelser

Ved revisionen af betonnormen i 1984 blev de minimale dæklagstykkelser ved skærpet og normal kontrol fastsat til 10 mm, 20 mm og 30 mm for henholdsvis passiv, moderat og aggressiv miljøklasse. Ved lempet kontrol blev de tilsvarende værdier henholdsvis 15 mm, 25 mm og 35 mm.

Den foreskrevne dæklagstykkelse, det vil i praksis sige tykkelsen af afstandsholderne, blev fastsat til den minimale dæklagstykkelse med et tolerancetilæg, der ikke bør vælges mindre end 5 mm. Dette var i overensstemmelse med normudvalgets tolkning af kravene i 1973-normen, som blev offentliggjort i Ingeniøren 1981-07-03.

En stikprøvevis undersøgelse af projekter, udført efter 1984-normen viste at der herskede en vis forvirring umiddelbart efter normens ikrafttrædelse. Mange tegninger skelnede således ikke mellem dæklags minimale tykkelse og foreskrevne tykkelse; dæklagene var blot øget 5 mm i forhold til tidligere. Derimod havde betonelementfabrikker fået indarbejdet en fast kontrolprocedure efter BEK-vejledning nr. 203-01 om styring og kontrol af dæklag.

### Miljøklasser

En opdeling af miljøet i tre klasser samt en gruppe af særligt aggressive miljøer blev bibeholdt ved revisionen i 1984 af 1973-normen. Fortolkningen via eksempler i vejledningerne til de to normudgaver udviser dog en forskel, som kan forbigå normbrugerens opmærksomhed og dermed skabe problemer.

I 1984-normen placeres udendørs, armerede betonkonstruktioner nær en kyststrækning i aggressiv miljøklasse. I 1973-normen gjaldt dette (miljøklasse A) kun nær den jyske vestkyst. Der er her tale om en skærpelse, selv om definitionen på »nær« ikke er givet.

I 1984-normen placeres broer generelt i aggressiv miljøklasse, medens 1973-normen kun placerer broer i miljøklasse A. Også her må der være tale om en skærpelse.

I 1973-normen placeres kældervægge, fundamenter og kældergulve i miljøklasse B. I 1984-normen placeres kun særligt udsatte kældervægge, kældergulve og fundamenter i moderat miljøklasse, medens jorddækkede konstruk-

tioner og jorddækkede fundamenter normalt henføres til passiv miljøklasse. Der er altså tale om en lempelse ved revisionen i 1984. Terminologien »normalt« er ikke defineret. Det må formodes, at »normalt« ikke dækker jorddækkede konstruktioner, hvor jord og grundvand er aggressive over for beton, fx mineralsurt grundvand og gødningsholdig jord (ammoniumsalte).

En telefonforespørgsel om projekter, udført efter 1984-normen, afslørede, at bygværker nær en kyststrækning, fx Øresund, ikke var projekteret i aggressiv miljøklasse.

### **Basisbetonbeskrivelsen 1986**

Selv om der med revisionen af betonnormen i 1984 skete en stramning af krav til både  $v/c$ -forhold og dæklagstykkelser, så blev der med BBB indført nye ændringer. BBB er obligatorisk i statsligt og statsstøttet byggeri.

### **Betonsammensætning**

Krav til maksimalt  $v/c$ -forhold for såvel armeret som uarmeret beton er 0,55 og 0,45 for henholdsvis moderat og aggressiv miljøklasse. I 1984-normen blev der kun stillet krav til maksimalt  $v/c$ -forhold for armeret beton. Der er altså tale om en skærpelse.

### **Dæklagstykkelser**

Krav til minimale dæklagstykkelser er uændret i forhold til 1984-normen, da BBB forudsætter DS 411 gældende på dette område.

### **Miljøklasser**

Der anvendes den samme miljøopdeling som i 1984-normen med en passiv, en moderat og en aggressiv miljøklasse. BBB såvel som 1984-normen omfatter kun bygningskonstruktioner udsat for sædvanligt forekommende miljøer. Der resterer således bygværker i miljøer, man passende kan kalde særligt aggressive. Definition på særligt aggressive miljøer er imidlertid forskellig i BBB og i 1984-normen, hvilket følgende viser.

I 1984-normen placeres svømmebassiner i aggressiv miljøklasse, medens BBB ikke omfatter svømmebassiner og placerer dem i et særligt aggressivt miljø, der falder uden for BBB.

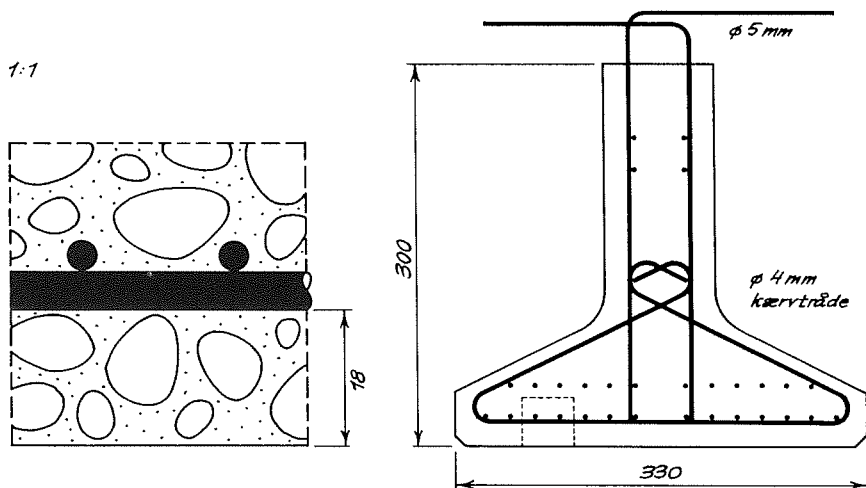
I BBB placeres en tørsaltpåvirket altangang i aggressiv miljøklasse, medens 1984-normen betragter tørsaltning som et særligt aggressivt miljø, der falder uden for normen.

Også inden for de sædvanlige miljøklasser er der tale om forskel mellem BBB og 1984-normen.

I 1984-normen placeres jorddækkede fundamenter normalt i passiv miljøklasse, medens BBB gør placeringen afhængig af sikkerhedsklassen.

BBB placerer støttemure i aggressiv miljøklasse, medens man næppe ville gøre det efter 1984-normen, medmindre der var tale om påvirkninger fra havvand eller nedrivende smeltevand fra tørsaltning.

Der er bestræbelser i gang for at få harmoniseret 1984-normen og BBB-1986.



Under og efter anden verdenskrig blev der i udlandet opført broer, hvis overbygning bestod af strengbetonbjælker med overbeton. I 1948 udførtes den første bro af denne type over Fladså i Haderslev amt. Der eksisterede ikke dengang normer for spændbeton, og 1949-normen kom heller ikke til at gælde for spændbeton. Derfor blev der projekteret uden normer.

Der blev tilstræbt en trykstyrke (20 cm terninger) på  $600 \text{ kg/cm}^2$  efter 28 døgns (Ostenfeld, 1953b). Dette blev opnået med  $v/c = 0,33$  og cementindhold på  $550\text{--}600 \text{ kg/m}^3$  samt et sætmål på ca. 1 cm og med kraftig formvibrering. Der berettes om styrker på  $900 \text{ kg/cm}^2$  efter 6 mdr. (Bjuggren, 1944).

»Ved rigtig udførelse på fabrikken repræsenterede bjælkerne et produkt af høj kvalitet, væsentlig bedre end betonelementer, der kan fremstilles på en almindelig arbejdsplads,« jvf. (Ostenfeld, 1953b).

Strengbetonbjælkernes tværsnit blev kopieret efter schweizisk forbillede. Det er typisk for disse strengbetonbjælker, at afstanden til hovedarmeringens centrum var 25 mm. Med bøjler 5–7 mm blev dæklaget 15–20 mm på bøjlerne i tilstræbt mål. Hertil kommer tolerance. »Armeringen er beskyttet mod rustangreb, idet den forspændte beton i bjælken er revnefri (der optræder ikke træk i bjælkens fod)«, citat fra (Ostenfeld, 1953b). I (Bjuggren, 1944) står følgende: »På grund af det store cementindhold og den effektive bearbejdning bliver betonen fuldstændig vandtæt.«

Med den viden vi har i dag, så har en beton med  $v/c = 0,33$  en så lille carbonatiseringshastighed, at det valgte dæklag vil give tilstrækkelig rustbeskyttelse, når blot der ikke er tale om chloridpåvirkning.

Det er en nødvendig betingelse, at betonens delmaterialer er forligelige, hvis man skal opnå og bevare de krævede betonegenskaber. Det har altid været erkendt. Derimod har der ikke altid eksisteret tilstrækkelig viden og praktisk erfaring, således at betonskader som følge af delmaterialers uforligelighed kunne undgås. Omfattende betonskader som følge af fx alkalikiselreaktioner, chloridtilsætning og frostfarlige (porøse) stenpartikler skulle først erkendes, før betonnormer blev revideret og gængs praksis ændret i en sådan grad, at betonskader som følge af delmaterialers uforligelighed kunne begrænses.

Betonnormerne i Danmark har altid været ret liberale med hensyn til valg af delmaterialer. Kravene til betons delmaterialer har altid været funktionsorienterede. De er resultater af praktisk erfaring. De kan næppe forstås uden indgående kendskab til gængs praksis. I den første betonnorm i Danmark (DIF, 1908b) er kravene således til fx betonens tilslag følgende:

*»Sand og grus skal være grovkornet, frit for organiske stoffer, ler og andre indblandinger i skadelig mængde, og i det hele egne sig til betonstøbning. Skærver og singels skal være af et tilstrækkeligt hårdt materiale til at give en stærk beton, rene og fri for fremmede indblandinger. Kornstørrelsen må stå i forhold til afstanden mellem jernstængerne og til konstruktionsdelens godstykkelse, og den må som regel ikke overskride 25 mm.«*

Siden 1950'erne er der drevet en omfattende forskning på holdbarhedsområdet. Det har naturligvis sat sine spor i betonnormerne fra 1973 og 1984 samt i Basisbetonbeskrivelsen fra 1986. Da betonnormerne imidlertid i udstrakt grad anvendte en formulering med funktionskrav (ydelsespecifikation), kom disse betonnormer ikke til at sætte sig så store spor, som normfædrene måske forventede.

Ved de mange normrevisioner har kravene ændret formulering. I den sidst udgivne betonnorm (DIF, 1984) er kravene til betonens tilslag således formuleret på følgende måde:

*»Grus skal bestå af materialer med egenskaber, der sikrer, at den foreskrevne betonstyrke kan opnås og bevares i den konstruktion, betonen tænkes anvendt til.«*

Også her gælder det, at disse krav kun kan forstås, når man har kendskab til gængs praksis.



# Alkalikiselreaktioner

Skadelig kemisk reaktion mellem gruspartikler i betons tilslag og alkali fra cement og fra omgivelserne omtales første gang i Danmark i Ingeniøren (Plum, 1947b). Senere kom der flere henvisninger, (Dalberg-Hansen, 1949ab) og (Christensen, 1950). Da Niels Munk Plum og senere Poul Nerenst var på studiebesøg i USA medførte den erhvervede viden, blandt andet om alkalikiselreaktion, at Statens Byggeforskningsinstitut, SBI, iværksatte undersøgelser, der førte frem til erkendelsen af, at alkalikiselreaktioner var en medvirkende årsag til betons manglende holdbarhed i Danmark.

I sin rejserapport (Nerenst, 1951) skriver Poul Nerenst om revnedannelser på grund af alkali-grus reaktioner:

*»Under mit ophold i USA havde jeg lejlighed til at studere det særlige problem, at der visse steder i USA er bemærket en ødelæggende ekspansion af betonen på grund af fysisk-kemiske processer mellem betongruset og cementens alkalier. Dette fænomen har hidtil ikke været iagttaget i Danmark, men forfatteren har efter sin hjemkomst opdaget et bygværk, der udviser revnedannelser, der er vanskelige at forklare ved de hidtil kendte årsager til betons nedbrydning, såsom svind, frost og rustsprængninger.*

*De ansvarlige myndigheders opmærksomhed er blevet henledt på dette forhold, og en mere detaljeret undersøgelse er under forberedelse.«*

På bestyrelsesmøder i DIF's arbejdsgruppe for Beton og Jernbeton 1951-09-26 og 1951-10-24 fremlagde Poul Nerenst fotos og andre data fra danske betonbygværker, hvor holdbarheden var utilfredsstillende. Med de indsamlede data for de pågældende bygværker kontaktede Poul Nerenst de specialister, som han havde haft kontakt med under studieopholdet i USA, blandt andre B. Mather, K. Mather, R. G. Mielenz, F. N. Hveem og T. E. Stanton.

Af korrespondancen fremgår det, at disse eksperter foreslog en nøjere analyse af alkaliindholdet i den danske cement for at fastslå, om det var højere end den amerikanske grænse på 0,6 pct. ækv.  $\text{Na}_2\text{O}$ . I et af de svar, som Poul Nerenst modtager (Mather, 1951) står således følgende:

*»Before one worried about an extraneous source of alkali, he would have to be sure that the cement manufacturers are right about the average alkali content of their cement. Without impugning their intensions, they could be inadequately informed. Do they regularly analyze for alkali in routine tests? What about fluctuations in alkali content?«*

F. N. Hveem svarer (Hveem, 1951) blandt andet på følgende måde:

*»The factor which does not correlate with these observations is that the alkali of the cement is presumably below 0.5 per cent. While our experience indicates that an alkali content of less than 0.6 per cent is not harmful here in*

*California, does not follow that a lower percentage would not react with aggregates from some other source. It is known that this will occur in mortar specimens at later ages.*

*It is suggested that one of the first steps in solving your particular problem would be to ascertain without question what the actual alkali content of the cement is and also to find out if possible, what the alkali content of the cement was at the time the affected structure was erected, as it is possible that the alkali content of the cement will vary from time to time.»*

Der var imidlertid ingen tvivl om, at de danske flintmaterialer var alkali-reaktive; det viste alle undersøgelser.

Dette problem skulle vise sig at være af betydning for arbejdsplanen for det senere nedsatte Alkaliudvalg. De svar, som Poul Nerenst fik fra USA, sagde klart, at betonens alkaliindhold kunne komme fra cementen, fra NaCl i omgivelserne samt fra betonens tilslag og puzzolan. Mielenz skriver således:

*»Experimental data are meager on the effect of neutral salts, such as sodium and potassium chloride. However, Kelly, Schuman and Hornibrook (Journal of the American Concrete Institute, September 1948, pages 57–80) obtained large expansions with mortar bars containing 2.5 per cent of opal and a low-alkali cement to which 2 per cent of NaCl, and 1.9 per cent of KCl, respectively, had been added. Without the salt additions the expansions were negligible.«*

Efter en nærmere redegørelse for reaktionsmekanismen fortsætter Mielenz:

*»However, there appears to be some possibility that alkalis might be derived from the aggregate. We know that alkalis released from aggregates and pozzolans will augment the supply of alkalis released by the cement, and at least in laboratory experiments, will increase expansion of specimens containing alkali-reactive aggregates.«*

Det blev senere ved forsøg godtgjort, at natriumchlorid, der tilføres beton (mørtel) skal medregnes til betonens alkaliindhold. Poul Nerenst skriver således (Nerenst, 1957):

*»Endvidere har forsøg på F. L. Smidth & Co's laboratorium i København vist, at reaktive mineraler med lavalkalimento og ferskvand giver en ekspansion på 0,01 pct., med havvand en ekspansion på 0,17 pct., dvs langt over den kritiske grænse på 0,1 pct.«*

## **Skademekanisme**

En del bjergarter og mineraler i Danmark er ikke stabile, når de i beton udsættes for den stærkt alkaliske porevæske. Porevæskens alkaliforbindelser reagerer ved en kompliceret kemisk proces med kiselholdige bjergarter og mineraler, fx porøs flint, i betontilslaget sand- og stenfraktion under dannelse af

alkalikiselgel. Under visse betingelser (Poulsen, 1985) foregår denne reaktion under kraftige differensudvidelser mellem tilslag og kitmasse. Det kan dels bevirke, at betonen revner, dels at betonen som helhed udvider sig og er medvirkende til at skabe revnedannelser i tilstødende konstruktionsdele.

Ved revnedannelsen kan betonens trykstyrke nedsættes betydeligt. Desuden giver revneforekomsten adgang for efterfølgende nedbrydning af betonen som følge af ydre påvirkninger (frost, udludning, chloridindtrængning). Revnedannelse forårsaget af alkalikiselreaktioner kan foregå gennem mange år.

### **Statens Byggeforskningsinstitut og Alkaliudvalget**

Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) startede i 1951 en undersøgelse af betonbygværker i Danmark. Formålet var at få konstateret, om observerede eksempler på ødelæggelser af betonbygværker kunne hidrøre fra reaktioner mellem alkali og reaktiv kisel (flint) i tilslagsmaterialerne. Resultatet af denne undersøgelse var en erkendelse af, at alkalikiselreaktioner forekom i Danmark (Nerenst, 1952a).

Efter at SBI og Akademiet for de Tekniske Videnskaber (ATV) derefter i 1954 havde nedsat et udvalg til undersøgelse af alkalireaktion i beton (Alkaliudvalget) blev der foretaget omfattende undersøgelser. Store forsøgsserier i laboratoriet og undersøgelser i marken af beskadigede betonbygværker blev grundlaget for en oversigtsartikel i Ingeniøren (Plum, 1957). Alkaliudvalgets arbejde afsluttedes blandt andet med en vejledning om forebyggelse af skadelige alkalikiselreaktioner i beton (Plum, 1961).

Forfatteren til vejledningen, Niels Munk Plum, skriver i forordet til vejledningen:

*»Da betons holdbarhed i almindelighed og alkalikiselreaktioner i særdeleshed jo hører til de problemer, man først i de senere år har underkastet dyberegående teoretiske undersøgelser med deraf følgende særlige foranstaltninger i praksis, må man regne med, at der endnu i en årrække vil vise sig skader, som vil nødvendiggøre omfattende reparationer.«*

### **Alkaliudvalgets vejledning**

Alkaliudvalgets vejledning opdeler betonkonstruktioners miljøpåvirkning i tre klasser, der kan karakteriseres med følgende nøgleord:

- Konstant tørt
- Fugtig, fersk
- Fugtig, alkaliholdig

I det følgende citeres de almene konklusioner for Alkaliudvalgets vejledning.

## Konstant tørt

Om beton i et konstant, tørt miljø anfører Alkaliudvalgets vejledning 1, citat fra side 12:

*»Ved Alkaliudvalgets undersøgelser har man ikke i praksis kunnet påvise nogen risiko for, at der vil forekomme skadelige alkalikiselreaktioner i konstruktioner, der i det væsentlige holdes tørre.*

*Al indendørs beton til husbygningskonstruktioner falder i denne miljøklasse. Med undtagelse af altaner, kældertrapper og særligt udsatte facadeelementer vil det altså sige, at den overvejende mængde af vort betonforbrug dermed – uanset cementtype og grussort – ikke er udsat for skadelige alkalikiselreaktioner.«*

## Fugtig, fersk

Om beton i denne miljøklasse skriver Alkaliudvalgets vejledning 1, citat fra side 14:

*»Udendørs konstruktioner, der alene er udsat for indtrængende regn eller fersk grundvand, vil kun i begrænset omfang være udsat for skadelige alkalikiselreaktioner.«*

Denne konstatering sammen med senere opbakning fra blandt andet CtO medfører (Kjær, 1973a), at der i praksis sjældent blev stillet krav om undgåelse af skadelige alkalikiselreaktioner i husbygningskonstruktioner.

## Fugtig, alkaliholdig

Om beton i denne miljøklasse skriver Alkaliudvalgets vejledning 1, citat fra side 16:

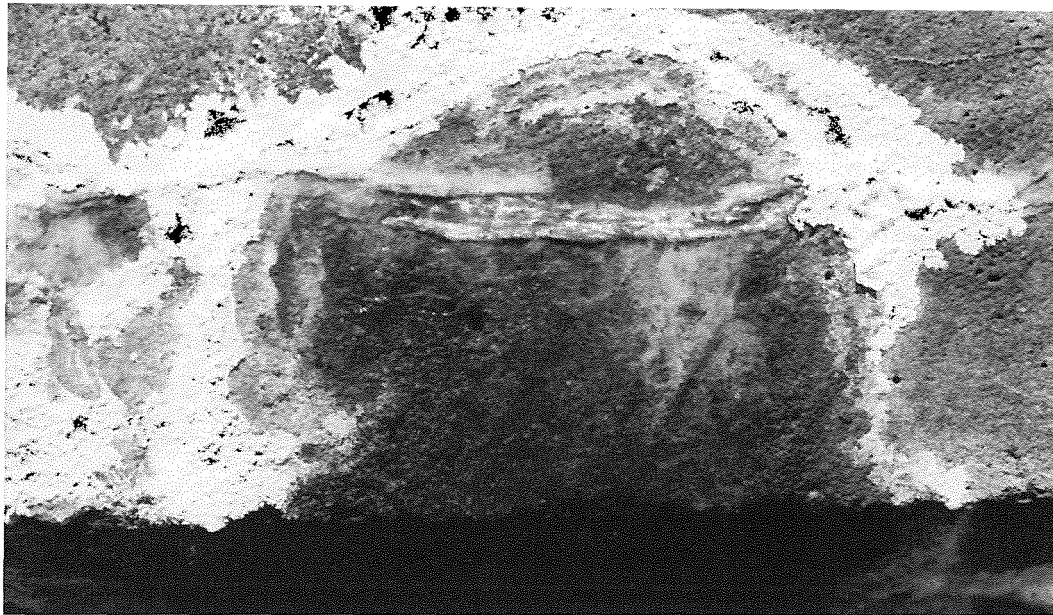
*»Risikoen for skadelige alkalikiselreaktioner i beton i denne miljøklasse vil altid være betydelig.«*

Trods Alkaliudvalgets konstatering ser man, for bygværker i denne miljøklasse, kun sjældent betonbeskrivelser efter 1961 med krav, der følger Alkaliudvalgets vejledning, jvf. afsnittet om betonbeskrivelser, side 77.

## Normrevisionen 1959–73

Dansk Ingeniørforening nedsatte i 1959 et arbejdsudvalg vedrørende betonkontrol (DIF, 1973b) på foranledning af Dansk Betonforening. Dette udvalg skulle udarbejde et forslag til ajourføring af betonmaterialeledelen af betonnormen DS 411 udgave 1 fra 1949. Dette udvalg kom til at arbejde i en periode, hvor Alkaliudvalgets resultater forelå. Dette kom naturligvis til at præge udvalgets arbejde.

Alkaliudvalget havde for beton i fugtigt miljø angivet en øvre grænse for reaktive partikler i sandet på ca. 2 pct., hvis der ikke blev anvendt en specialce-



*I 1950'erne blev alkaliskreaktion ofte sat i forbindelse med anlægsarbejder. Det har dog vist sig, at bygningsarbejder også kan fremvise eksempler på skadelige alkaliskreaktioner. Gelen, der dannes ved reaktionen, kan medføre revnedannelse og vil under særlige omstændigheder kunne observeres på betonoverfladen af alkaliskskadede betonkonstruktioner.*



ment. Derimod gav Alkaliudvalget ingen grænser for reaktivt indhold til stenfraktionen ud over følgende anbefaling for beton udsat for alkaliholdigt (salt) vand fra omgivelserne:

*»Undersøgelser af udborede betonprøver af konstruktioner tyder imidlertid på, at stenene under alle omstændigheder bør være helt frie for indhold af porøs flint, også som belægninger på tæt flint.*

*Et eventuelt tilladeligt indhold af tæt flint kan kun angives efter nærmere forsøg.*

*Normalt vil det derfor under disse omstændigheder kun være tilrådeligt at anvende granitsten.«*

For at nå frem til en mere præcis formulering udsender arbejdsudvalget 1961-12-07 et brev til personer, der havde haft en særlig tilknytning til de gennemførte forsøg vedrørende alkalikiselreaktioner.

Niels Munk Plum svarer arbejdsudvalget på vegne af Statens Byggeforskningsinstitut på følgende måde:

*»Tak for Deres brev af 7-12 f.å. hvori De beder om vore synspunkter på eventuelle talværdier for angivelse af maksimalt tilladeligt indhold af reaktivt kisel i stenfraktionen i tabellen side II.*

*Vi beklager at måtte meddele, således som det allerede detaljeret fremgår af Alkaliudvalgets vejledning nr. 1, at der, så vidt vi kan se, ikke endnu er tilvejebragt det nødvendige eksperimentelle grundlag for fastsættelse af sådanne talværdier.*

*Må det være os tilladt at bemærke, at heller ikke den af udvalget i skemaet i kolonne 1 for sand anførte værdi på 2 pct. er så almengyldig, at den, så vidt vi kan se, bør finde anvendelse som foreslået.*

*Eventuelle tilladelige maksimale værdier for såvel sand som stenfraktioner vil formentlig variere ret betydeligt med de geologiske forhold på udvindingsstedet, og indtil disse forhold er detaljeret oplyst, vil det kunne have uheldige økonomiske konsekvenser at knæsse en enkelt tilladelig værdi i normerne.«*

G. M. Idorn svarer med brev dateret 1962-02-19 ligeledes arbejdsudvalget, at krav til maksimalt indhold af reaktivt materiale i sand og sten til beton må frarådes. Det sker med følgende to hovedgrunde:

*»1. Den efterspurgte talværdi vil ikke kunne begrundes i viden om alkalikiselreaktionernes natur, forløb og faktiske forekomst i betonbygværker.*

*2. Anførelse af en talværdi som efterspurgt må også af principielle grunde, dvs. ud fra samfundsøkonomiske betragtninger, frarådes.«*

Senere i brevet motiverer G. M. Idorn ovenstående punkt 2 på følgende måde:

*»Min personlige mening, som blandt andet går ud på, at en ensidig fastsættelse af max. tilladelig flintprocent i sten – såvel som i sand – ikke vil være en*

*hensigtsmæssig foranstaltning, når formålet er en forbedret samfundsmæssig betonøkonomi (det må erindres, at der ikke hidtil er angivne tilfælde, hvor alkalikiselreaktioner har repræsenteret et sikkerhedsproblem). Jeg føler mig overbevist om, at de vanskeligheder, som de ovenfor anførte betragtninger demonstrerer, i høj grad skyldes, at man endnu ikke tilstrækkeligt har erkendt forvirringsfænomenernes statistiske natur, og derfor ikke endnu har udviklet metoder, hvorefter disse problemer kan behandles kvantitativt til vejledning for praksis. Fx har man hidtil lagt hovedvægten på at beskrive og analysere de »gennemsnitlige« resultater ved forsøg mv., medens man i virkeligheden burde ofre den væsentlige opmærksomhed på ekstremerne i praksis. Derfor er det ikke muligt at angive en sammenhæng fra data til disposition. Det er ikke de hertil anvendelige data, man hidtil har samlet på, og de data, der foreligger, er i øvrigt selv ud fra traditionelle statistiske behandlinger behæftet med væsentlig større usikkerhed end det er almindeligt i materialeprøvnin-gen. Der er således anledning til at overveje anlæggelse af ny synsvinkler over for disse problemer.«*

Der var altså ikke megen støtte at hente hos de personer, der havde forestået Alkaliudvalgets undersøgelser. Arbejdsudvalget valgte derfor at fremlægge forslag til at imødegå skadelige alkalikiselreaktioner ud fra egne erfaringer.

Udvalget gik ind for en opdeling i klasser, både hvad angår materialer og udførelse. I udvalgets 3. forslag til »Normer for beton- og jernbetonkonstruktioner« dateret 1965-03-20 kan man således om materialeklasser læse:

*»I materialeklasserne 1, 2, 3 og 4 er kravene til betonens delmaterialer og sammensætning specificeret, således at man ved valg af den rigtige materialeklasse under hensyntagen til den ydre påvirkning og konstruktionens art opnår en rimelig holdbarhed.«*

Om udførelsesklasser kan man samme sted læse:

*»Betonarbejdet opdeles i fire materialeklasser A, B, C og D, og betonproducenten skal for at kunne udføre arbejdet i en bestemt klasse opfylde de for denne klasse specificerede krav.«*

Betonkonstruktioners miljøpåvirkning opdeles i miljøklasser. Det fremgår således af 1. forslag til »Vejledning til normer for beton- og jernbetonkonstruktioner«, dateret 1965-03-25, at der er tale om følgende tre miljøklasser, omfattende beton, der er

- udsat for salt- og brakvand,     udsat for ferskvand eller fugt
- kun undtagelsesvis udsat for fugt

Om kravene i materialeklasserne kan man i 3. forslag til normen læse følgende krav til cementen:

*»I klasse 2 må cementens alkaliindhold, udtrykt som ækvivalent  $\text{Na}_2\text{O}$ , ikke overstige 0,3 vægtprocent. Betonens samlede indhold må ikke overstige 0,4 vægtprocent.«*

Om kravene til betonens tilslagsmaterialer kan man sammesteds læse følgende:

*»I klasse 1 må sandet ikke indeholde mere end 3 vægtprocent, og stenmaterialet ikke mere end 0,5 vægtprocent reaktiv kisel.«*

Udvalget begrundet kravforslagene i 1. forslag til vejledning således:

*»Afgørende faktorer for opnåelse af god holdbarhed overfor vejrpåvirkninger af enhver art – herunder alle påvirkninger, som direkte eller indirekte følger af vandindtrængning og vandgennemsvivning – er valget af en velproportioneret og velkomprimeret, tæt beton med lavt v/c-tal. Dette gælder for frostpåvirkning, armeringskorrosion, alkali-grusreaktioner og også i et vist omfang for kemisk angreb, blandt andet fra glatførekemikalier.«*

Om reaktivt tilslagsmateriale har 1. forslag til vejledningen følgende anbefaling:

*»Hvor det skønnes rimeligt at sikre beton mod skadelige alkaligrusreaktioner, må betonens råmaterialer og sammensætning vælges som nærmere angivet for materialeklasse 1 og 2. Anvendelse af andre reaktive tilslagsmaterialer som fx alunskifer og dolomit kræver særlig undersøgelse.«*

I de efterfølgende reviderede normforslag sker der en »udvanding« af arbejdsudvalgets først stillede forslag til krav for at undgå skadelige alkalikiselreaktioner.

I 4. forslag til normer for beton- og jernbetonkonstruktioner, dateret 1965-04-28, er kravet til cementens og betonens alkaliindhold udgået. Under afsnittet om holdbarhed findes følgende om reaktivt materiale:

*»Hvor det skønnes rimeligt at sikre beton mod skadelige alkaligrusreaktioner, må betonens råmaterialer og sammensætning vælges som angivet for materialeklasse 1 i afsnit 7.«*

I afsnit 7 findes følgende:

*»Materialeklasse 1 tager sigte på at give en holdbar beton i særligt udsatte konstruktioner. For at formindske risikoen for alkalikiselreaktioner og springsår er der foreskrevet en begrænsning i mængden af reaktive materialer i sandfraktionen og anvendelse af stenmaterialer, som er inaktive og frostbestandige.«*

Senere i dette 4. forslag til norm kan man læse det konkrete forslag til gruset:

*»I materialeklasse 1 må fraktionen < 4 mm ikke indeholde mere end 3 vægtprocent og fraktionen > 4 mm ikke mere end 0,5 vægtprocent reaktiv kisel. Indholdet af reaktiv kisel bestemmes som angivet i prøvemethode . . . , og kravets overholdelse skal kunne dokumenteres.«*

Der sker derefter en væsentlig beslutning på møde nr.79 i Betonteknologiudvalget 1965-05-10, hvor 4. forslag til normer for beton- og jernbetonkonstruktioner er til behandling. I referatet fra mødet kan følgende læses:



*»I afsnittet om materialeklasser punkt 7.1.2 slettes bemærkningen om alkalikiselreaktioner i materialeklasse 1, idet denne klasse ikke specielt skal siges mod sådanne reaktioner, men skal være en »superbeton.« Dette medfører formentlig, at tabel 7.1.2 udgår, idet der nu kun vil være krav til urenheder og v/c-forholdet.«*

Den omtalte tabel 7.1.2 angav blandt andet grænser for reaktiv kisel i tilslagsmaterialer. I forslag til norm for beton- og jernbetonkonstruktioner, der udsendtes til kritik i april 1971 er alkalikiselreaktioner i konsekvens heraf ikke nævnt. I forslag til vejledning til norm for beton- og jernbetonkonstruktioner, der udsendtes til kritik samtidig, er alkalikiselreaktioner omtalt med følgende anbefaling:

*»Hvor der er risiko for skadelige alkalikiselreaktioner, og det er hensigtsmæssigt ud fra teknisk-økonomiske overvejelser at undgå virkningen heraf, må valg af betonens delmaterialer (cementtype, grusmaterialer, tilsætningsstoffer) afpasses herefter. I øvrigt henvises til speciallitteraturen.«*

### **Betonnormen 1973**

Efter behandlinger i forskellige udvalg mv. udkom betonnormen DS 411 udgave 2 i 1973, med tilhørende vejledning. Der er ingen krav i denne betonnorm om, at alkalikiselreaktioner skal undgås, men i vejledningen findes følgende anbefaling:

*»Hvor der er risiko for skadelige alkalikiselreaktioner, bør valg af betonens delmaterialer, dvs. cementtype, grusmaterialer og tilsætningsstoffer, afpasses herefter.«*

Denne anbefaling var ikke operationel. Den krævede, indtil der forelå en dansk standard for sand-, grus- og stenmaterialer, en teknisk sagkyndighed, som næppe kunne forventes hos projekterende, udførende og tilsyn. Derfor blev acceptkriterierne for sand og sten i praksis stort set bibeholdt efter 1949-normen.

### **Grusnormen 1977**

DS 401 for sand-, grus- og stenmaterialer udkom i 1977 (DIF, 1977b). Ifølge DS 411 udgave 2 skulle krav og klassificering findes her, medens prøvningsmetoderne skulle findes i DS 405. Funktionskravene til betonens tilslagsmaterialer dækkede nøje kravene i 1973-normen, DS 411. Alkalikiselreaktion var ikke nævnt. Der var dog en hjælp at hente med hensyn til at vurdere egnethed af betontilslag:

*»Som fyldestgørende dokumentation for et tilslagsmateriales egnethed skal anses, at en beton, der er fremstillet med det pågældende tilslagsmateriale i et blandingsforhold, som er omtrent det samme som det aktuelle, og anvendt under omstændigheder svarende til dem, som den aktuelle beton vil*

*blive udsat for, i praksis har vist sig tilfredsstillende med hensyn til den omhandlede brugsegenskab.»*

Dernæst giver DS 401 specifikationer med hensyn til urenheder, kornkurve og frostfarlighed. Derimod er der ikke et ord om alkalikislerreaktioner.

Med udgivelsen af DS 401 i 1977 blev der ikke stillet krav om at undgå alkalikislerreaktioner. Hvis der blev benyttet sand og sten i en kvalitet som almindelig handelsvare, var kravene i DS 401 opfyldt. Det var da også det, der stod i næsten alle betonbeskrivelser.

### **Betonnormen 1984**

DIFs normstyrelse nedsatte i 1979 et arbejdsudvalg til revision af 1973-normen. Der skulle ved revisionen bygges på alle de principielle forhold i 1973-normen. Dog skulle der i muligt omfang tages hensyn til igangværende nordisk og internationalt arbejde.

Den reviderede betonnorm (DIF, 1984) fik som 1973-normen ingen krav om, at alkalikislerreaktioner skal undgås (men nok, at de opnåede betonegenskaber skulle bevares). Revisionen af vejledningen gav kun anledning til sproglige ændringer ved omtalen af anbefalingerne, hvor der er risiko for alkalikislerreaktioner:

*»Hvor der er risiko for skadelige alkalikislerreaktioner, bør betons delmaterialer, dvs. cementtype, grusmaterialer og tilsætningsstoffer, vælges, så risikoen imødegås.»*

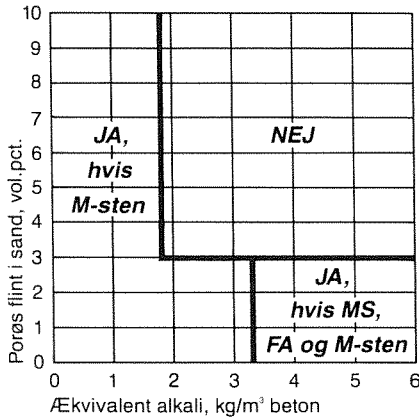
Revisionsudvalget levede op til kommissoriet om, at principielle forhold skulle bevares. Funktionskravsprincippet blev bevaret i 1984-normen.

### **Basisbetonbeskrivelsen 1986**

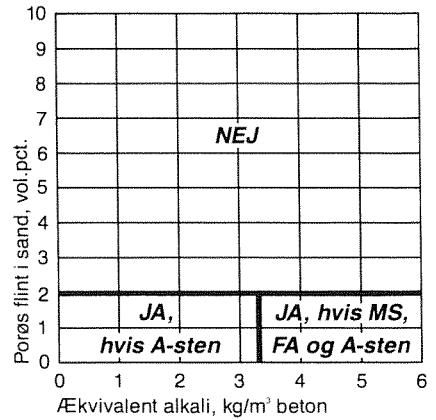
Akademiet for de Tekniske Videnskaber, ATV, nedsatte i 1982 et udvalg vedrørende betonbygværkers holdbarhed. En af de opgaver dette udvalg påtog sig, var at omarbejde BPS-publikation nr. 15 om typiske beskrivelsesafsnit inden for bygningsområdet – betonarbejder, betonelementleverancer. Denne publikation var i lighed med danske betonnormer opbygget omkring funktionsbaserede krav. Dette princip ønskede man fra udvalgets side at forlade til fordel for en opbygning omkring talbaserede krav. Som grundlag for de krav,

*På side 65 er vist kravforslag og endelige krav til M- og A-beton. MS angiver mikrosilika, FA flyveaske. M-, A- og S-sten er defineret i skema 2 og 3 i BBB 86. Ud over at opfylde kravene til A-sten, må S-sten højst indeholde 1,0 pct. partikler med korn densitet under 2500 kg/m<sup>3</sup>. Forsøg i Danmark (Andreasen, 1957) & (Thorsen, 1986) og i udlandet (Concrete Society, 1987) har vist, at der ligger en betydelig sikkerhedsreserve mod skadelige alkalikislerreaktioner skjult i anvendelse af hydraulisk tilslag (MS og FA). I BBB kan hydraulisk tilslag kun medtages som en ekstra sikkerhed.*

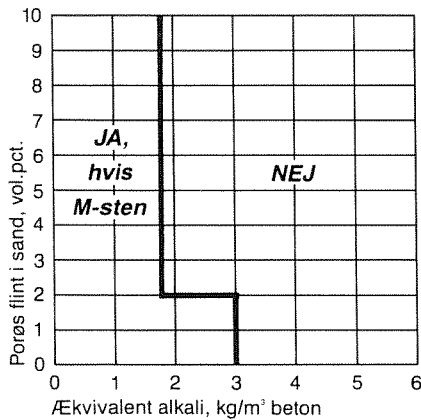
Kravforslag til M-beton i BBB-koncept, juni 85:



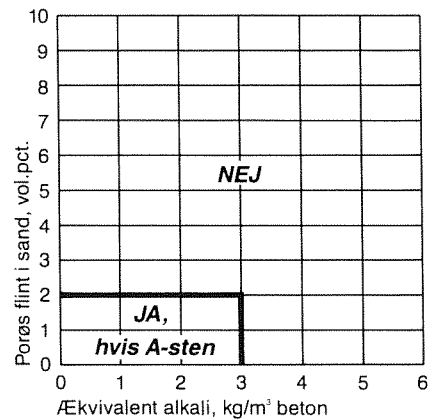
Kravforslag til A-beton i BBB-koncept, juni 85:



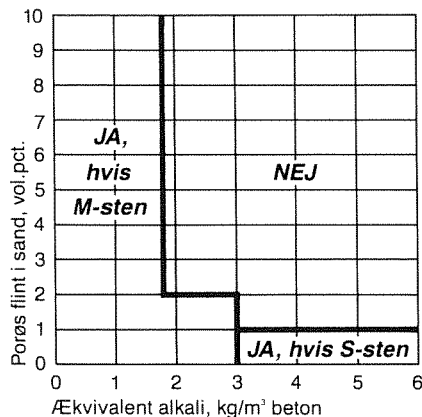
Kravforslag til M-beton i BBB-koncept, nov. 85:



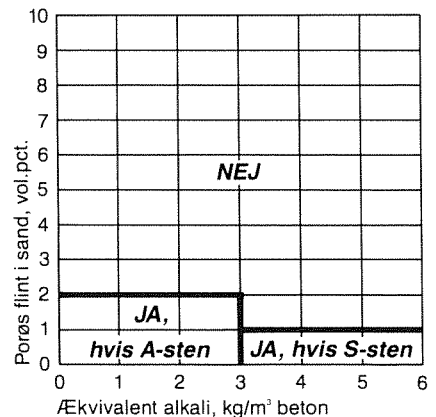
Kravforslag til A-beton i BBB-koncept, nov. 85:



Krav til M-beton i BBB, maj 86 og januar 87:



Krav til A-beton i BBB, maj 86 og januar 87:



der skulle formuleres i BBB, benyttede man rapporten »Detailkrav til holdbar beton« (Damgård Jensen, 1984b). Heri var der blandt andet skabt et samlet overblik over den dokumentation, som skulle begrunde de krav til holdbar beton, som man kunne møde i 1983. Rapporten kom aldrig ud til offentlig høring. Det var måske en af grundene til, at der blev så heftig debat, da forslaget til BBB første gang blev udsendt i koncept, juni 1985.

Konceptet til BBB blev derefter omarbejdet og udsendt med nye forslag til krav i november 1985. Også dette koncept blev kritiseret. Den endelige udgave af BBB udkom i maj 1986 med de endelige krav. Byggestyrelsen udgiver BBB-86 i marts 1987. Figuren på foregående side illustrerer, hvor store forskelle, der i de forskellige koncepter har været i opfattelsen af de nødvendige krav til betons delmaterialer og sammensætning for at imødegå risikoen for alkalikiselreaktioner i moderat og aggressiv miljøklasse. På denne baggrund er det måske forståeligt, at betonnormens funktionsorienterede krav ikke havde virket i praksis.

### **Aalborg Portland/CtO**

Der er gennem årene udkommet mange publikationer om beton fra Aalborg Portland og fra CtO. I mange af disse publikationer omtales alkalikiselreaktioner. Da disse publikationer henvender sig til alle, der har med beton at gøre, er det ikke unaturligt, at disse publikationer har fået stor betydning.

### **Beton-Teknik 3/02/73**

Der udkom en Beton-Teknik 3/02/73 fra CtO i 1973 som en hjælp til projekterende og udførende, der ikke vidste, hvorledes man »afpassede valget af delmaterialer« for at nedsætte risikoen for skadelige alkalikiselreaktioner, sådan som anbefalet i vejledningen til 1973-normen. Der indledes med:

*»Beton-skader i form af revner, afsprængninger etc. på grund af alkalikiselreaktioner forekommer erfaringsmæssigt ret sjældent. Det er dog en skademulighed, som både de, som har ansvaret for at formulere krav til beton, og de, der er beskæftiget med at fremstille beton, må være opmærksomme på, ...«*

Efter en indledning, der resumerer Alkaliudvalgets arbejde, siges det:

*»I de år, der er forløbet siden disse undersøgelsers afslutning og publikation, er der kun sjældent konstateret skader, som med sikkerhed har kunnet tilskrives alkalikiselreaktioner. Dette tyder på, at den tilvejebragte viden om mulighederne for at forebygge alkalikiselreaktioner er indarbejdet i betonpraksis. Det må på den anden side erkendes, at hvis man under alle forhold og i alle situationer ville gardere sig 100 pct. mod betonskader som følge af alkalikiselreaktioner, ville dette næppe være muligt uden generelle og betydelige omkostningsforøgelse.«*

I afsnittet »Hvor forekommer alkalikiselreaktioner?« står der endvidere:  
»Eksempler på, at alkalikiselreaktioner med sikkerhed har kunnet fastslås at være den primære skadeårsag, er få.«

Dette afsnit sluttes med:

»I de fleste alvorlige tilfælde af skadelige alkalikiselreaktioner, hvor der er foretaget en dyberegående efterforskning, har betonen vist sig at have utilfredsstillende initialkvalitet – den har ikke været proportioneret til at modstå frostangreb, den har været for vandrig, den har været mangelfuldt komprimeret, osv.«

På sidste side i Beton-Teknik 3/02/73 opstilles krav til forebyggelse af alkalikiselreaktioner, herunder krav om max. 2 pct. indhold af reaktive korn i sandet.

På SBI havde man søgt at få skrevet et sammendrag af Alkaliudvalgets undersøgelser for derved at kunne udgive en mere detaljeret anvisning på fremstilling af holdbar beton end Alkaliudvalgets vejledning 1. Efter Alkaliudvalgets nedlæggelse kunne SBI imidlertid ikke holde på de medarbejdere, der havde været centralt placeret i Alkaliudvalgets arbejde.

SBI forsøgte derefter at udarbejde den endelige vejledning med andre medarbejdere. Så sent som i 1973 retter Niels Munk Plum og Poul Nerenst en indtrængende henstilling til SBI om at få den afsluttende rapport udarbejdet (Plum, 1973). Anledningen var blandt andet Beton-Teknik 3/02/1973 (Kjær, 1973), som Niels Munk Plum følte gav en undervurdering af mulighederne for alkalikiselskader og disses alvorlighed.

Den afsluttende rapport udkom aldrig fra SBI.

## **Beton-Teknologi 1976**

Betonnormen fra 1973 byggede i høj grad på, at overholdelse af krav blev dokumenteret ved prøvning. Mange prøvningsmetoder var blevet standardiseret, men langt fra alle dem, der var behov for i praksis. Ved en gennemgang af typiske betonbeskrivelser kunne man opleve, at der ikke eksisterede indarbejdede (gængse) prøvningsmetoder for op imod halvdelen af de stillede krav. For blandt andet at råde bod på dette forhold, udgav CtO et ringbind, Beton-Teknologi, med en kommenteret gennemgang af prøvningsmetoder for beton og betonens delmaterialer (CtO, 1976b).

Heri findes en beskrivelse af, hvorledes man bestemmer stenmaterialers bjergarts sammensætning, struktur, form og overflade. Ved bjergarts sammensætningen skelnes der mellem alkalireaktive og andre bjergarter. Det anføres ikke, hvorledes resultaterne kan eller skal anvendes.

## Beton-Teknik 10/05/77

I serien »Fra CtOs arbejdsmark« publiceres en artikel med titlen »Om alkali-problemet«. Denne artikel indledes med:

*»I Danmark har vi et alkalikisereaktionsproblem, fordi næsten alle vore naturlige tilslagsmaterialer til beton indeholder større eller mindre mængder reaktiv kisel. Derfor møder vi også ofte en alkalikiselfrygt hos mange bygherrer, rådgivende ingeniører og entreprenører. Denne frygt er naturligvis begrundet i ovennævnte faktum, men hænger også sammen med usikkerhed over for hvilke parametre i betonens sammensætning (art og mængde af reaktive bestanddele i gruset, cementens kemi, blandingsforholdet), udførelse og den færdige betonkonstruktions omgivende miljø (fugt- og temperaturforhold, alkalitilførsel fra tøsalt), som det er særlig vigtigt at beherske og styre for at undgå skadelige alkalikisereaktioner. For det er også et faktum, at på trods af den latente risiko er det egentlig ganske få betonkonstruktioner, der har lidt væsentlig skade som følge af alkalikisereaktioner.«*

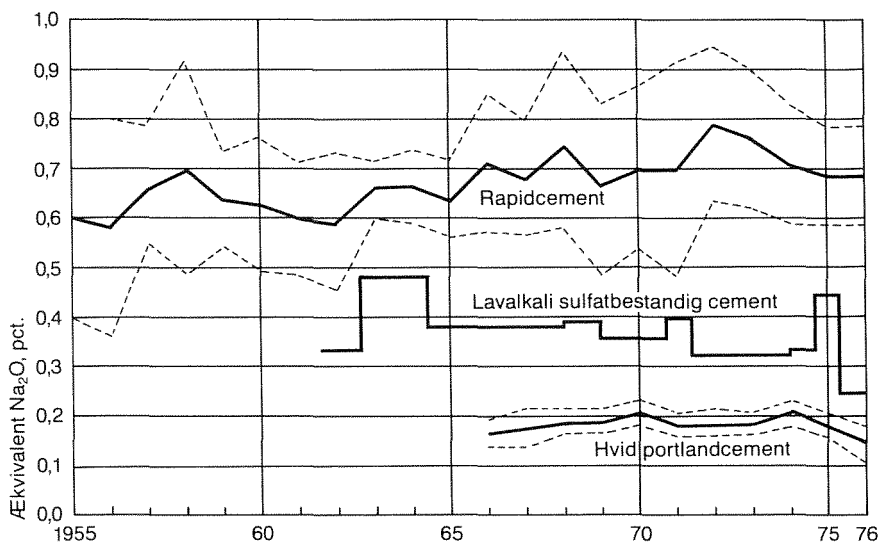
Artiklen indeholder et diagram (se side 69), der viser variationer i alkaliindholdet i blandt andet rapidcement. Årsmiddeltallene, beregnet på basis af ugemiddeldprøver eller ugentlige stikprøver er vist i perioden 1955-76. Der er indtegnet et variationsområde svarende til middeltallet  $\pm 2$  gange spredningen. Variationsområdet strækker sig op over 0,9 pct. i 1968 og i 1971-73. Det må betyde, at enkeltprøver må have haft ganske høje alkaliindhold.

I artiklen siges om dette:

*»Som det ses, ligger alkaliindholdet for rapidcement lavt i hele perioden, men selvfølgelig med en vis spredning. Det kan naturligvis ikke udelukkes, at denne variation i enkelte tilfælde kan have været udslagsgivende med hensyn til skadelige alkalikisereaktioners opståen. Men det må i en sådan vurdering tages i betragtning, at betonens alkaliindhold er ligefrem proportional med dens cementindhold (en fordobling af cementmængden medfører også en fordobling af alkalimængden), og at grusets indhold af reaktiv kisel (fx porøs flint) varierer inden for vide grænser her i landet. Desuden er det som bekendt blevet almindeligt i de senere år at tilføre visse betonkonstruktioner, fx broer, betydelige alkalimængder udefra i form af natriumchlorid (køkkensalt), der anvendes som optøningsmiddel på veje, pladser osv.«*

Artiklen slutter med:

*»Oplysning om alkalikisereaktioner og om mulighederne for at forebygge skader som følge heraf har danske cementforbrugere altid kunnet få gennem CtO. Gennem årene har CtO da også modtaget et stort antal forespørgsler og har ofte i forbindelse hermed gennemført laboratorieundersøgelser af grusmaterialer og af betonprøver, som har været mistænkt for at have skader på grund af alkalikisereaktioner.«*



Diagrammet viser variationer i alkaliindholdet (målt som ækv.  $\text{Na}_2\text{O}$ ) hos rapidcement fra Rørdal i perioden fra 1955–76, for lavalkali sulfatbestandig cement i perioden 1962–76 og for hvid portlandcement i perioden 1966–76. For rapidcement og hvid portlandcement er der vist årsmiddeltal, beregnet på basis af ugemiddeltprøver eller ugentlige stikprøver. De viste variationsområder svarer til  $\pm 2$  gange spredningen. For lavalkali sulfatbestandig cement, der ikke produceres løbende, er der blot indtegnet middeltal, svarende til hver produktionsperiode. Fra Beton-Teknik 10/05/1977. Det bemærkes, at der for alkaliindholdet i rapidcement er tale om en stigende tendens i årene fra 1962–72. Derefter er der en faldende tendens. I 1972 kom årsmiddeltallet plus to gange spredningen over 0,9 procent. I samme periode kan det forventes, at alkaliindholdet i portlandcement har haft det samme forløb. Portlandcement og rapidcement fremstilles af samme klinker.

## Beton-Bogen 1979

CtO udgiver i 1979 et stort værk, Beton-Bogen, på 720 sider. Det er 2 år efter, at grusnormen DS 401, udgave 2, udkom. I forordet siges:

»Denne bog om beton er tænkt som en håndbog for alle, der har brug for viden om fremstilling af god beton og om betons egenskaber.«

Alle, der ikke synes, at 1973-normen var oplysende nok (det var jo en funktionsorienteret norm), fik nu en slags kommentar til normen. Beton-Bogen lagde sig nemlig tæt op til normen og forklarede de der givne funktionskrav.

Beton-Bogen omtaler alkalikiselreaktioner. Et par citater vil illustrere dette. På side 218 står der således:

»Det er muligt, at mange af de revnebilleder, man hidtil har tillagt alkalikiselreaktioner, i stedet er fremkaldt af termorevner og frost.«

På side 305 står der:

*»Som omtalt senere indeholder så godt som alle naturlige grusforekomster her i landet betragtelige mængder flint, og de fleste betonkonstruktioner vil derfor teoretisk være disponeret for alkalikiselreaktioner. Det er dog kun et begrænset antal af de mulige alkalikiselreaktioner, som kommer til udfoldelse, og af disse er det igen et fåtal, som får et skadeligt forløb.«*

Endelig står der side 307:

*»Petrografisk undersøgelse af danske grusmaterialer (med henblik på risikoen for skadelige alkalikiselreaktioner) i forbindelse med en konkret betonstøbningsopgave må derfor normalt anses for overflødig.«*

## **Beton-Teknik 1/05/82**

Formålet med publikationen var blandt andet at resumere den nyeste viden om danske betontilslagsmaterialer. Om alkalikiselreaktioner fastslås det her:

*»Sandets væsentligste, negative betydning for betons holdbarhed vedrører risikoen for udvikling af skadelige alkalikiselreaktioner.«*

Desuden er der følgende advarsel:

*»Anvendelse af cement med lavt alkaliindhold, øget tæthed af betonen, luftiblanding, tilsætning af silicastøv eller flyveaske reducerer risikoen for skader, men eliminerer den ikke. Sands alkalikiselreaktivitet bør derfor altid vurderes nøje.«*

Også skader fra porøs flint i stenfraktionen berøres:

*»Alkalikiselreaktioner i stenfraktionen som et væsentligt bidrag til skader på beton er sjældne. Under passende ekstreme omstændigheder vil det dog før eller siden vise sig. Ved analogibetragtninger til, hvad der reagerer i sandfraktionen, må de porøse flintsten samt flintstenene med hvid skorpe forventes at kunne udvikle alkalikiselreaktioner. Pilotforsøg har vist dette eksperimentelt (Christensen, 1982).«*

Den eneste principielle forskel mellem Beton-Teknik 1/05/1982 og Alkaliudvalgets vejledning 1 er den divergerende opfattelse af tæt flints alkalireaktivitet.

## **Beton-Bogen 1985**

Revisionen af betonnormen (DIF, 1984) medførte, at der blev udgivet en omarbejdet udgave af Beton-Bogen i 1985. Der havde imidlertid igen været opmærksomhed om flere store betonskadesager, hvor alkalikiselreaktioner var medvirkende årsag. I den ny udgave af Beton-Bogen er der medtaget et nyt afsnit om prøvning af sand og stens alkalireaktivitet ved petrografisk analyse, DS 405.1 for sten og TI-B52 for sand. Med hensyn til betingelser for at undgå skadelige alkalikiselreaktioner, henvises der til publikationen »Detailkrav til holdbar beton« (Damgård Jensen, 1984b).



## CtOs lommebøger

Mindre entreprenører og murermestre, der helt støtter sig til information fra CtO kunne i »den lille grønne og den lille blå« fra CtO (årstal ikke anført) læse følgende:

*»Det skal også nævnes, at de fleste danske bakke- og søgrusmaterialer i større eller mindre grad indeholder en form for mikrokrystallinsk kisel (fx porøs flint), der kan reagere kemisk med cementens indhold af alkalier. Denne foreteelse kaldes alkalikiselreaktioner og kan under ugunstige forhold føre til dannelse af en alkalikiselgel, der kan forårsage revnedannelse i betonen. Dette fænomen optræder heldigvis sjældent, men man bør dog være på vagt, såfremt man skal udføre en særlig vigtig betonkonstruktion under omstændigheder (miljø, geografisk område, grusmateriale), som erfaringsmæssigt tidligere har ført til skadelige alkalikiselreaktioner. I så fald bør man overveje at benytte alkalifattig cement, såsom lavalkali sulfatbestandig cement og hvid portlandcement, eller et ikke reaktivt grusmateriale, fx knust klippegranit.«*

## BPS-centret

For at tilvejebringe et ensartet udbuds- og udførelsesgrundlag for arbejder inden for byggesektoren udgiver BPS-centret (Byggeriets Planlægningssystem) i 1977 en vejledning om typiske beskrivelsesafsnit inden for bygningsområdet, specielt hvad angår betonarbejdet og betonelementleverance (BPS-publikation nr. 15). I forordet til denne publikation omtales beskrivelsens indhold på følgende måde:

*»Den beskrivelse, der hermed stilles til rådighed for de projekterende inden for bygningsområdet under titlen »Typiske beskrivelsesafsnit«, adskiller sig fra de vante betonbeskrivelser først og fremmest derved, at de grundlæggende krav til betonens styrke, geometri, holdbarhed og udseende er søgt formuleret som krav til den færdige betonkonstruktions egenskaber, og at der i samme forbindelse er opstillet regler for kontrollen med disse egenskaber.«*

I den første del om betonarbejdet finder man følgende krav til sikring af betons holdbarhed:

*»Ved fastsættelse af dæklag og betonsammensætning skal regnes med påvirkninger svarende til de miljøklasser, der fremgår af beskrivelsen af de enkelte bygningsdele eller af tegningerne.«*

I kommentarerne hertil fastslås det, at miljøklasser fastlægges af de projekterende. Kontrol af holdbarhed kræves opfyldt på følgende måde:

*»Betons holdbarhed kontrolleres ved løbende kontrol med betonsammensætning, tilslagsmaterialer, dæklag osv.«*

Det er kombinationen af cementens alkaliindhold (cementtype), tilslaget indhold af reaktiv kisel, betonsammensætningen og muligheden for alkalitil-

førsel, der har betydning for risikoen for skadelige alkalikiselreaktioner i beton i fugtige miljøer. Vedrørende cement anføres følgende:

*»Der anvendes almindelig portlandcement (APC) eller hurtighærdnende portlandcement (RPC).«*

I kommentarerne tilføjes det, at såfremt der skal anvendes specialcementer bør det anføres her. Der gives dog ingen vejledning i, hvorfor specialcementer kan være nødvendige. For grus til beton stilles følgende krav:

*»Sandfraktionen (0–4 mm) skal bestå af rene, sunde og stærke korn med egnet kornform og kornfordeling, eventuelt skal sandfraktionen sammensættes af flere leverancer.*

*Stenfraktionen (over 4 mm) må for beton i miljøklasse B ikke indeholde mere end 5 masseprocent lette korn.«*

Der er her tale om typiske funktionskrav. De er dog hverken entydige eller operationelle. Begreberne »rene, sunde, stærke og lette korn« er nemlig ikke defineret i publikationen eller andetsteds. Der findes i øvrigt ikke DS-prøvningsmetoder for de nævnte egenskaber. Derfor kan det ikke kontrolleres, om foreliggende sand og sten er egnet til beton efter BPS-publikation nr. 15.

Mange betonkonstruktioner, som har fået skadelige alkalikiselreaktioner, har som betonbeskrivelse haft en afskrift efter BPS-publikation nr. 15. Som eksempler kan nævnes boligbyggeri og svømmehaller med omfattende skader fra alkalikiselreaktioner.

I afsnittet om betonelementleverancer anvendes samme formulering som ovenfor omtalt for at sikre holdbarhed.

I 1980 udsendes BPS-kataloget »reoveringsdetaljer, altaner« (BPS, 1980). Heri læses:

*»Alkalikiselreaktioner omfatter geldannende reaktioner mellem alkalier (fra cement samt eventuelle alkalisalte, fx NaCl), kisel (porøs flint mv. fra tilslaget) samt vand. Gelen er hygroskopisk og kan trække vand til sig fra omgivelserne. Herved ekspanderer gelen og udøver et tryk på omgivelserne. Trykket kan, hvis det er stort nok, enten udvide eksisterende revner eller selv danne revner. De fleste danske grusforekomster indeholder reaktive bestanddele. Et lavt v/c samt luftindblanding modvirker alkalikiselreaktioner.«*

Postulatet i den sidste sætning kan der næppe føres dokumentation for. Det kan føre til alvorlige fejltagelser, hvis det angivne råd har været fulgt. Der synes at være tale om en afskrift fra Beton-Bogen (CtO, 1979). Ved revisionen af Beton-Bogen i 1985 (CtO, 1985a) ændres postulatet ikke.

## **Konsulentvirksomhed**

Der synes altid at have været et vist behov for specialistassistance inden for betonområdet, dvs. en konsulenttjeneste, som de projekterende og udførende kunne trække på efter behov. Efter erkendelsen omkring 1952 af, at alkaliki-

selreaktioner var en aktuell skadeårsag i Danmark, blev behovet for konsulenttjeneste ikke mindre.

### Statens Byggeforskningsinstitut

Efter den første oversigtsartikel om alkalikiselreaktioner i Danmark (Plum, 1957) opstod der et behov for at få vurderet sand- og stenmaterialer til beton. SBI oprettede derfor en konsulenttjeneste, hvor igennem disse ydelser blev tilbudt. Der blev udført et stort antal undersøgelser efter vurderingskriterierne i Alkaliudvalgets vejledning 1, (Plum, 1961).

SBIs konsulentvirksomhed inden for betonområdet, herunder vurdering af sand og sten til betonstøbning, ophørte imidlertid midt i 1960'erne. Derefter var det SBI's tanke, at denne aktivitet (petrografi) skulle overtages af Statsprøveanstalten (nu: Dantest) og af CtO. Der kom det dog aldrig rigtig i gang. På Aalborg Portlands betonforskningslaboratorium i Karlstrup (BFL) blev der forsket i alkalikiselreaktioner, men der blev ikke udført rutinemæssig kontrol af sand og sten til beton for entreprenører og tilsyn. Byggeteknik, Teknologisk Institut i Tåstrup, begyndte sidst i 1970'erne at tage den konsulenttjeneste op, som SBI ophørte med i midten af 1960'erne. I den mellemliggende periode var der faktisk et tomrum.

### Cementfabrikkernes tekniske Oplysningskontor

CtO er en afdeling under Aalborg Portlands marketing- og salgsfunktion. CtOs arbejde omfatter fem områder, nemlig rådgivning, laboratorieservice, undervisning, publikation og dokumentation. Mange entreprenører, murermestre og rådgivende ingeniører har gennem tiden hentet vejledning om betonproblemer hos CtO, herunder også alkalikiselreaktioner, jvf. Beton-Teknik 10/01/1978.

### Teknologisk Institut

Tyndslibsmetoden blev introduceret på TI i maj 1977. Alkaliudvalget havde anvendt en modificeret udgave af mørtelprismemetoden, ASTM C 227-52T. Den var langsommelig at anvende til konsultationsopgaver i forbindelse med vurdering af, om en given sandprøve var potentielt alkalireaktiv. Susanta Chatterji offentliggjorde i 1978 i Cement & Concrete Research et forslag til en prøvningsmetode, baseret på mørtelprismer og saltlagring. En vurdering af sands potentielle alkalireaktivitet kunne med denne metode, TI-B51, gennemføres på kortere tid end med ASTM C227-52T. Begge metoder krævede dog længere tid end den petrografiske metode (bjergartsfordeling), som Alkaliudvalget anvendte, jvf. (Poulsen, 1958) og (Plum, 1961).

Foruden disse vurderingsmetoder for sandmaterialer til beton, var den tyske metode »Vorbeugende Massnahmen gegen schädigende Alkalireaktion

im Beton« blevet offentliggjort i 1973 i Tyskland. Metoden blev omtalt af Niels Thaulow på et møde i Dansk Betonforening om alkalikiselreaktioner i 1973 og medtaget i litteraturlisten i Beton-Teknik 3/02/1973. Den tyske metode vinder hurtigt indpas, især for vurdering af sand til beton i betonbroer og lignende anlægsarbejder. Det kan næppe afvises, at grunden kan være, at metoden er hurtig og nem at udføre for et kemisk laboratorium, og at det måske har talt mere end metodens relevans.

CtO anfører (Kjær, 1973b) i Beton-Teknik 9/08/1973 om den tyske metode blandt andet følgende:

*»Bogen giver en letfattelig gennemgang af alle sider af problemet alkalireaktioner i beton; dog bør man huske, at den er baseret på tyske forhold, således at erfaringerne ikke uden videre kan overføres til danske materialer. Da der imidlertid synes at være en vis interesse for dette spørgsmål herhjemme for tiden, kan det måske være nyttigt i aktuelle situationer at kende den foreliggende bogs eksistens.«*

I januar 1978 startede Teknologisk Institut et projekt »Undersøgelse og klassifikation af danske sandforekomster«. De undersøgte sandprøvers alkalireaktivitet blev vurderet både med den nye mørtelprismememete, TI-B51, og den tyske metode. Der var kun ringe overensstemmelse mellem de to metoders resultater. Rapporten over sandundersøgelsen blev offentliggjort i 1980. Heri konkluderes:

*»Det må derfor frarådes at basere valg af sand på den tyske prøvningsmetode, og i stedet vælge sandet ud fra mere funktionsrelevant prøvning, fx de her udførte ekspansionsmålinger.«*

Der er eksempler fra praksis på, at betonkonstruktioner har fået skadelige alkalikiselreaktioner, selv om det anvendte sand er blevet prøvet med den »tyske metode« og fundet acceptabelt.

Farøbroernes betonbeskrivelse blev offentliggjort i 1979. Kravene til sand afviger fra Vejdirektoratets hidtidige praksis, idet kravene ved beton med almindelig portlandcement var, at sandet skulle være kalk- og flintfrit. Såvel ved forundersøgelsen som ved produktionskontrollen skulle der blandt andet foretages følgende prøvning:

*»Indholdet af alkalireaktive materialer, dvs. tæt og porøs flint og eventuelt opalsandsten bestemmes ved petrografisk analyse.«*

I marts 1981 fik Teknologisk Institut overdraget denne sandkontrol. Petrografisk analyse af sandmaterialer til betonstøbning blev i denne periode udviklet til en prøvningsmetode, TI-B52, som blev tilbudt på lige fod med mørtelprismemetoden, TI-B51. I de følgende år vandt den petrografiske analyse som kontrolmetode frem i mange betonbeskrivelser. BBB anvender således petrografisk analyse af sand, TI-B52, på lige fod med mørtelprismemetoden, TI-B51, for vurdering af sand.

## Lærebøger

Det har været en tradition i uddannelsen af danske ingeniører, at der blev givet en grundig indføring i såvel betontechnologi som i betonstatik og konstruktionslære. Medens Suensons lærebøger i den første halvdel af dette århundrede omhyggeligt indførte læserne i problemerne med betons holdbarhed, synes perioden efter 1950 at virke svagere på dette område.

### Beton II, DIA-B

Jørn Jessings lærebog Beton II om vinterstøbning, varmhærdning og holdbarhed (Jessing, 1968) blev udgivet på DIA-B i 1968. Foruden en gennemgang af holdbarhed og materialeøkonomi omtales frostangreb, alkalikiselreaktioner, udludning og korrosion af armering i beton i detaljer.

Efter en gennemgang af reaktionsforløb og skademekanismer, hvor betons nedbrydning skyldes alkalikiselreaktioner, beskrives de mulige modforholdsregler mod skadelige alkalikiselreaktioner. Jessing skriver således:

*»Hvis grusmaterialet ikke indeholder reaktive bestanddele, kan alkalikiselreaktioner ikke forekomme. I Danmark er dette i realiteten ensbetydende med, at tilslaget ikke må indeholde flint. Dette krav er vanskeligt at opfylde for naturligt forekommende grusmaterialer fra grusgrave eller havbund, men enkelte sandforekomster har dog så lave flinthold (under 2 pct.), at risikoen kan negligeres. Hvad angår stenfraktionen, er brug af knust materiale, fx bornholmsk granit, næsten den eneste anden mulighed.«*

Jessing kommer også ind på anvendelse af almindelige cementer contra specialcementer:

*»Hvis cementen har et alkaliindhold under en vis grænse (omkring 0,6 pct. ækv.  $\text{Na}_2\text{O}$ ) er risikoen for skadelige reaktioner lille. Danske portlandcementer alkaliindhold varierer om et middeltal på ca. 0,7 pct. Da der endvidere kan tænkes tilført betonen alkalier fra omgivelserne, kan man ikke ved almindelige cementer se bort fra risikoen. Der fremstilles her i landet specialcementer, der giver væsentligt forøget sikkerhed: Lavalkali, sulfatbestandig cement (ækv.  $\text{Na}_2\text{O} = 0,4$  pct.) og alkaliresistent cement (ækv.  $\text{Na}_2\text{O} = 0,3$  pct.).«*

### Vandbygning III, DTH

Mandrup Andersens og Burcharths lærebog Vandbygning III om havnebygning og kystsikring (Andersen, 1968) blev udgivet på DTH i 1968 og blev anvendt på DIA-B og DTH. Bogen indeholder et særligt kapitel om byggematerialer. Om betonkonstruktioner i havvand angives alkalikiselreaktioner blandt de vigtigste angreb på betonen. Herom står:

*»Inden for de sidste årtier har man herhjemme erkendt en vigtig nedbrydningsfaktor i de såkaldte alkalikiselreaktioner, som har særlig fremtrædende betydning på Jyllands vestkyst.«*

Senere i afsnittet tages forholdsreglerne op:

*»Der er i tidens løb udviklet en del forholdsregler med henblik på anvendelse over for specifikke skader. De vigtigste er:*

*Luftindblandingsmidler, som gennem dannelse af en mængde små luftblærer giver vandet udvidelsesmuligheder under frysning og altså øger frostsikkerheden.*

*Specielle havvandscementer, som modvirker sulfat- og alkalikiselangreb.*

*Specielle grus-tilslag, såsom nedknust granit, hvilket især er udviklet for at imødegå alkalikiselskaderne.«*

### Beton, tilslagsmaterialer

Aage D. Herholdts lærebog Beton, tilslagsmaterialer (Herholdt, 1970) blev udgivet på Polyteknisk Forlag i 1970. Om holdbarhed skrives:

*»Tilslaget mineralogiske forhold spiller en vigtig rolle for betonens modstandsevne over for nedbrydende påvirkning af såvel kemisk som fysisk art. De krav, der må stilles til grusmaterialet med henblik på god bestandighed, kan sammenfattes i følgende tre punkter:*

*1. Tilslaget må i sig selv være bestandig over for nedbrydning.*

*2. Skadelige reaktioner mellem cementpasta og tilslag må ikke kunne finde sted.*

*3. Tilslaget må ikke indeholde urenheder, som påvirker cementpastaens styrke og sundhed.«*

Efter en gennemgang af alkalikiselreaktioner finder man under kapitlet Grusundersøgelse en beskrivelse af, hvorledes tilslagets mineralogiske sammensætning bestemmes:

*»Problematikken vedrørende prøvestørrelser etc. er den samme som beskrevet under pkt. 4, dog med den forskel, at sandets mineralogiske forhold ikke er af underordnet betydning, hvorfor det undersøges på lige fod med stene. Som antydning i forbindelse med de fysiske egenskaber foretages undersøgelse af fraktionerne mindre end 4 mm på specielle mikroskoppræparater. Af hver fraktion sorteres mindst 100 korn i tæt flint, porøs flint samt alkalisk inaktive bestanddele, og den relative fordeling udregnes for såvel de enkelte fraktioner som det samlede materiale.«*

### Beton, DTH

Ole Glarbos lærebog Beton (Glarbo, 1975) omtaler alkalikiselreaktioner og risikoen ved danske grusmaterialer som betontilslag. Det angives, at sikker-

hed mod alkalikiselreaktioner opnås ved anvendelse af nedknust granit i såvel sten- som sandfraktionen.

## Betonbeskrivelser

Så vidt vides er betonbeskrivelserne for P&T's betontårne fra 1956 det sted, hvor man i Danmark først ser krav formuleret for at undgå skadelige alkalikiselreaktioner. I Beskrivelse og betingelser for udførelse af 2 stk. 27,3 m jernbetontårne ved Rudkøbing og Nakskov samt i Beskrivelse og særlige betingelser for udførelse af 5 stk. 61 m jernbetontårne (Lerbjerg, Slots Bjærgby, Visenbjerg, Kolding og Juelsminde), finder man følgende ordlyd:

*»Den udstøbte beton skal være fri for kalk og kalcedon og andre skadelige urenheder. Entreprenøren er pligtig til for egen regning at lade tilslagsmaterialer og vand laboratorieundersøge samt aflevere attester for undersøgelserne til tilsynet i god tid, inden støbning påbegyndes.«*

Betonbeskrivelser med krav til betons delmaterialer for at mindske risikoen for skadelige alkalikiselreaktioner fandtes sporadisk, da Alkaliudvalget blev ophævet og SBI videreførte konsulenttjenesten med vurdering af sand- og stenmaterialers potentielle alkalireaktivitet. Det generelle indtryk er imidlertid, at flertallet af betonbeskrivelser ikke stillede krav som foreslået af Alkaliudvalget (Plum, 1961).

## Svømmebassin

Om projekteringen og udførelsen af Bellahøjbassinet (Rasmussen, 1961) oplyses:

*»Projekteringen af Bellahøjbassinet foregik netop i en periode, da omfanget af skader i beton fra alkalireaktioner begyndte at blive kendt; på den anden side var det meget sparsomt, hvad der på det tidspunkt forelå offentliggjort af eksakte oplysninger.«*

Senere skriver artiklens forfatter:

*»Da vi ydermere fik oplyst, at alkalireaktioner ved et andet svømmebassin havde været medvirkende til skader, som havde medført meget omfattende reparationer, besluttede vi at lade de tilslagsmaterialer (sømaterialer), som vi agtede at anvende, undersøge hos »Udvalget vedrørende alkalireaktioner i beton.«*

I artiklen omtales, at en af de undersøgte sorteringer blev udskudt på grund af alkalireaktivt indhold. Desuden blev det besluttet at anvende en alkalifattig cement.

## Husbygning

Der er kun få eksempler på betonbeskrivelser inden for husbygningsområdet, hvor det med krav til betonens delmaterialer søges at nedsætte risikoen for

skadelige alkalikiselreaktioner. Et eksempel er Humlehaveskolen, hvor råhusentreprisen også omfattede et svømmebassin. I betonbeskrivelsen, der er fra 1975, stilles der blandt andet følgende krav til stenmaterialet:

*»Stenene skal være af stærke, ikke forvitrede materialer og må ikke være forurenede. Stenene må ikke frembyde risiko for alkalikiselreaktioner. Entreprenøren er pligtig til at indhente fornøden sagkyndig udtalelse herom.«*

Til sandmaterialerne stilles der blandt andet følgende krav:

*»Sandet skal være rent og bestå af sunde og stærke korn. Ler, kalk, flint, humus, organiske materialer eller andre skadelige stoffer må ikke forekomme i skadelige mængder.«*

## Vejbro

Som eksempel på en betonbeskrivelse for en bro, hvor der stilles krav til tilslagsmaterialerne for at undgå alkalikiselreaktioner, kan man pege på en vejbro i Hjallerup. I beskrivelsen, der er fra 1968, stilles der blandt andet følgende krav til stenmaterialerne:

*»Der anvendes sømaterialer. Disse må ikke frembyde risiko for alkalikiselreaktioner. Entreprenøren er pligtig til at indhente fornøden sagkyndig skriftlig udtalelse herom, og aflevere denne til tilsynet i 3 eksemplarer.«*

Til sandmaterialerne stilles der blandt andet følgende krav:

*»Sandet skal være rent og bestå af sunde og stærke korn. Af hensyn til faren for skadelige alkalikiselreaktioner må flintindholdet ikke være større end 2 pct.«*

Ifølge et internt notat indeholdt betonfabrikkens sand mere end 2 pct. flint, skønnet uden prøvning. Fabrikken foreslår, at CtO giver en udtalelse om det samlede tilslag. Samtidig oplyser fabrikken, at en petrografisk analyse vil vare flere måneder og koste ca. 2000 kroner. På byggemøde 1968-06-13 besluttede man følgende:

*»Der skal leveres beton, hvori sandets flintindhold er mindre end 2 pct., indtil eventuel udtalelse fra CtO foreligger.«*

CtO undersøger indsendte tilslagsprøver, nemlig 3 sandprøver og 2 stenprøver. Undersøgelsesresultaterne foreligger i rapport 1968-07-09. Der er foretaget bestemmelse af flintindholdet for stenprøverne (perler og nødder fra Kollerup Strand). Flintindholdet var henholdsvis 75 vægt-pct. og 89 vægt-pct. Flintindholdet i sandet var ikke bestemt. CtO knytter følgende bemærkninger til undersøgelsen:

*»Indholdet af flint er bestemt ved frasortering efter den i Beton-Teknik 1953:3 anviste metode.*

*Med hensyn til risiko for alkalikiselreaktioner i beton, fremstillet af materialer som de indsendte prøver, ser vi os desværre ikke i stand til at foretage andre undersøgelser end nævnt under pkt. 7 og 8. Da en nærmere vurdering af*



*faren for skadelige alkalikisereaktioner afhænger af følgende betydende faktorer: Cementens type, grusets sammensætning, betonens sammensætning og reaktionsmiljøet, vil en undersøgelse alene af en af disse ting (gruset) ikke i sig selv være tilstrækkelig dokumentation for en eventuel risiko eller ikke risiko. En samlet vurdering må omfatte alle disse punkter, og vi vil i den anledning blandt andet henvide til »Alkaliudvalgets vejledning nr. 1. Foreløbig vejledning i forebyggelse af skadelige alkalikisereaktioner i beton«, hvor der findes opstillinger på en mere realistisk vurdering af de konkrete tilfælde.«*

Det ligger noget uklart, hvad der sker efter dette brev, men i byggemøde-referat 1968-08-08 kan man læse følgende beslutning:

*»Da det har vist sig vanskeligt at fremskaffe sand med flintindhold mindre end 2 pct., vil der blive anvendt granitskærver. Entreprenøren fremkommer med tilbud på differenceprisen mellem beton og sand med flintindhold mindre end 2 pct. og beton med granitskærver.«*

Den valgte beton får følgende sammensætning:

Portlandcement .....	370 kg/m <sup>3</sup>
Sand 0–5 mm .....	730 kg/m <sup>3</sup>
Skærver 4–30 mm .....	1120 kg/m <sup>3</sup>

Der blev anvendt plastificerende og luftindblandende tilsætningsstoffer med v/c-forhold på 0,45. Fra Statsprøveanstalten foreligger en prøveattest fra 1968-05-30, der viser at den indsendte cementprøve indeholdt 0,30 pct. Na<sub>2</sub>O og 0,46 pct. K<sub>2</sub>O, altså 0,60 pct. ækv. Na<sub>2</sub>O.

Af en tilstandsrapport fra maj 1977 fremgår det, at der er konstateret fine revner i søjler og endevægge, revner i kantelementer samt en meget kraftig forvitring af beskyttelsesbetonen og brodækundersider.

Der foreligger ikke en visuel strukturanalyse af betonen (eftersynet skete i 1976/77), men efter beskrivelsen af skaderne kan det næppe afvises, at alkalikisereaktion har været en medvirkende skadeårsag.

Broen er nu repareret med beton, bestående af kvartsand og granit. Der er ikke observeret nedbrydning af reparationsbetonen i den forløbne 10-årige periode.

Dette skadetilfælde illustrerer tydeligt, at Alkaliudvalgets vejledning ikke var tilstrækkelig information, selv om man kan læse følgende (side 18):

*»Ved en række særlig udsatte konstruktionselementer, som fx kantbjælker på betonkonstruktioner, er der fundet så mange tilfælde af skadelige alkalikisereaktioner, at det generelt må anbefales, at disse udføres af beton med flintfrie materialer. Der går som regel kun små mængder beton i sådanne elementer, og reparationer er så bekostelige, at det normalt ikke vil kunne betale sig at løbe nogen risiko her.*

*Det tilrådes, at man i hvert enkelt tilfælde underkaster spørgsmålet en økonomisk analyse. Herunder kan man også undersøge muligheden for at udføre sådanne konstruktionsdele af elementer, der let kan udskiftes.»*

## **De store broer**

Fremskridt inden for betonteknologien er ofte sket i forbindelse med udførelse af de store broer i Danmark. Alkalikiselreaktion blev også første gang erkendt som medvirkende årsag til betons nedbrydning ved de store broer over Limfjorden. Det kan derfor have en vis interesse at se, hvorledes man har søgt at sikre sig imod alkalikiselreaktion gennem krav til betonens delmaterialer, betonsammensætning mv. i beskrivelserne for de store broer i Danmark, opført efter Alkaliudvalgets arbejde var afsluttet med vejledning 1 (Plum, 1961) og vejledning 2 (Jeppesen, 1961).

### **Ny Lillebæltsbro**

Den første større bro, der blev opført efter at Alkaliudvalget afsluttede sit arbejde i 1961, var den ny Lillebæltsbro. Betonbeskrivelsen er fra juni 1964. For sandet stilles der heri blandt andet følgende krav:

*»Der må ikke foreligge fare for skadelige kemiske reaktioner mellem sandets mineraler og cementens alkaliindhold. Undersøgelse af sandets egnethed i så henseende skal dog kun gennemføres efter tilsynets nærmere bestemmelser, og udgifterne hertil afholdes af bygherren.»*

Ovenstående var gældende for sand til både klasse I og klasse II. For sten til beton af klasse I skulle der anvendes granit, og kravene var her:

*»Stenmaterialet skal bestå af granitskærver med velegnet (kubisk) kornform og med egnet kornkurve. Granitten skal være god og sund, og indholdet af fremmede mineraler (herunder flint) må ikke overstige 2 vægtprocent.»*

Til beton af klasse II var der ikke krævet granit. Kravet for at undgå skader fra alkalikiselreaktion var formuleret på følgende måde:

*»Mineraler, som kan fremkalde kemiske reaktioner med cementens alkaliindhold, må ikke forekomme i skadelig mængde. Indvindingsstedet for stene skal derfor godkendes af tilsynet.»*

Ovenstående krav er funktionsorienterede. Det er dermed overladt til entreprenøren, tilsynet og et anerkendt laboratorium at opstille de specifikke, talbaserede krav. Det har tilsyneladende ikke voldt vanskeligheder. Der er efter det oplyste ikke observeret skader som følge af alkalikiselreaktioner.

Efter det oplyste er der blevet anvendt sand fra Ørum. Dette sand ligger på grænsen til at være alkalireaktivt, bedømt ud fra mørtelprismeekspansion. Der er imidlertid anvendt cement fra Mariager. Denne cement var kendt for at indeholde under 0,6 vægtprocent ækv.  $\text{Na}_2\text{O}$ .



*Den nye Lillebæltsbro var den første større bro, der blev projekteret, efter at Alkaliudvalget havde afsluttet sit arbejde i 1961 med udgivelsen af de to vejledninger og et stort antal Progress Reports. Betonbeskrivelsen for den ny Lillebæltsbro er fra 1964. Der stilles heri krav om, at der ikke må foreligge fare for skadelige reaktioner mellem sandets mineraler og cementens alkaliindhold. Som følge heraf blev der stillet krav til alkalireaktiviteten af såvel det sand som de sten, der skulle anvende som betontilslag. Broen fremtræder i dag uden skader. Medens der for den ny Lillebæltsbro og de andre senere, store broer stilles krav for at imødegå skadelige alkalikiselreaktioner, så blev der først senere stillet tilsvarende krav til beton i motorvejsbroer. Betonbeskrivelsen for den ny Lillebæltsbro gjorde sig også bemærket derved, at den forbød tilsætning af calciumchlorid til betonen, se side 94.*

### Sallingsundbroen

Betonbeskrivelsen for denne bro er fra januar 1973. Der er ikke stillet specifikke krav til betonens sand- og stenmaterialer for at undgå alkalikiselreaktion. Derimod er det krævet, at cementen underkastes løbende kontrolprøvning (én undersøgelse pr. påbegyndt 500 m<sup>3</sup> beton), der omfattede alkaliindholdet:

*»Undersøgelsen skal omfatte cementens egenskaber, finhed samt tryk- og trækstyrker og bestemmelse af cementens alkaliindhold (ækv. Na<sub>2</sub>O).«*

Hvorledes disse kontrolresultater skulle anvendes er ikke anført i betonbeskrivelsen. Lavalkali sulfatbestandig cement er anvendt i udstrakt grad tillige med almindelig og hurtighærdnende portlandcement. Som tilslag er der efter det oplyste anvendt granitskærver fra Sverige og søsten fra Vigsø med sandmaterialer fra Vigsø.

I byggeperioden blev Beton-Teknik 3/02/73 udgivet. Efter det oplyste gav det ikke anledning til overvejelser om risiko for skadelige alkalikiselreaktioner, selv om Sallingsundkonsortiet havde et nært samarbejde med såvel CtO i Aalborg som med BFL i Karlstrup.

Der er ikke rapporteret om skadelige alkalikiselreaktioner i Sallingsundbroen.

### Vejlefjordsbroen

Betonbeskrivelsen for denne bro er fra november 1974. Der er ikke stillet specifikke krav til betonens sand- og stenmaterialer for at undgå alkalikiselreaktion. Derimod er det krævet, at cementen underkastes løbende kontrolprøvning (én undersøgelse pr. påbegyndt 500 m<sup>3</sup> beton), der omfattede alkaliindholdet:

*»Undersøgelsen skal omfatte cementens egenskaber, hvad angår størkning, formbestandighed, finhed samt tryk- og trækstyrker og bestemmelse af cementens alkaliindhold (ækv. Na<sub>2</sub>O).«*

Hvorledes disse kontrolresultater skulle anvendes, er ikke anført, idet der ikke er stillet krav til begrænsning af den anvendte cements alkaliindhold.

Med ca. 10 års gode erfaringer fra den ny Lillebæltsbro er det ikke unaturligt, at sand fra Ørum bliver foreslået anvendt. Cementfabrikken i Mariager var i mellemtiden blevet nedlagt.

Efter det oplyste, er der til kantbjælker blevet anvendt sand fra Voervadbro (kvarssand). Søjler og overbygning er derimod støbt med sand fra Ørum. Der er anvendt rapidcement, idet der dog er anvendt tysk slaggecement i vandgangslinien.

Der er ikke rapporteret om skadelige alkalikiselreaktioner i Vejlefjordsbroen.

### Hadsundbroen

Betonbeskrivelsen for denne bro er fra 1974. Opførelsen af denne bro illustrerer nogle af de vanskeligheder, man i den periode havde med valg af betons delmaterialer for at søge at undgå alkalikiselreaktion. Derfor skal hændelsesforløbet gennemgås mere detaljeret end det er sket ovenfor med de andre store broer.

Der er i betonbeskrivelsen for Hadsundbroen stillet talbaserede krav til betonens sand- og stenmaterialer. For sand (0–4 mm) er der stillet følgende krav:

»Sandet skal være rent og bestå af sunde og stærke korn. Kalk, flint, ler, humus eller andre skadelige stoffer må ikke forekomme i skadelig mængde, jvf. nedenstående.«

I den nedenstående specifikation var det krævet, at »det totale flintindhold må ikke overstige 5 pct. efter vægt.« For sten var der krævet anvendelse af granit eller sømaterialer med blandt andet følgende specifikation:

»Stenene skal være sunde, stærke, rene og frostbestandige og ikke alkalireaktive.«

Af byggemødereferaterne fremgår det, at entreprenøren, efter at have undersøgt en række sandforekomster, konstaterer, at det er vanskeligt at finde sand, der opfylder kravet om et max. indhold af 5 pct. flint. Den eneste mulighed, ifølge byggemødereferaterne, var anvendelse af ren kvartssand, eventuelt iblandet bakkesand i et sådant forhold, at kravet blev overholdt. Efter drøftelse med Vejdirektoratet konkluderer man, at det er uheldigt at sammenblende kvartssand med flintholdigt bakkesand. Derefter vedtages det at anvende kvartssand (Voervadbro) og granitsten (Rønne) til beton i pæledæk, landfæster, pilleskafter, klappiller og brofag. Den valgte betonsammensætning var:

Almindelig hærdnende portlandcement .....	355 kg/m <sup>3</sup>
Kvartssand, Voervadbro 0–5 mm .....	730 kg/m <sup>3</sup>
Granitskæver, blå Rønne 5–25 mm .....	1140 kg/m <sup>3</sup>
Vand/cement-forhold .....	0,47
Luftindhold i frisk beton .....	ca. 5 vol.pct.
Sætmål .....	60–80 mm

Ved eftersynet i 1985 blev der konstateret revnedannelser på en strækning af kantdragerne. Der blev udboret betonprøver. En visuel strukturanalyse viste, at revnedannelsen kunne relateres til porøse flintkorn i sandet og i stenfraktionen. Årsagen til, at tilslaget ikke havde opfyldt de stillede krav i betonen på den pågældende strækning er ikke fundet. De opståede skader illustrerer betydningen af, at der stilles krav, og at de overholdes. Betonen var støbt med almindelig portlandcement, som netop i den periode havde et højere alkaliindhold end tidligere (og senere), jvf. Beton-Teknik 10/05/77.

### Alssundbroen

Betonbeskrivelsen for denne bro er fra oktober 1977. Kravene til betonens delmaterialer og sammensætning i denne bro er interessant derved, at broen opføres i slutningen af den tomrumperiode på ca. 15 år, hvor det ikke umiddelbart var muligt at få udført petrografisk analyse af sand- og stenmaterialer til

beton på betonorienterede laboratorier i Danmark. Den »tyske metode« var introduceret få år i forvejen. Det kommer da også til at præge denne broes betonbeskrivelse. Som krav til betonens sandfraktion stilles blandt andet:

*»Indholdet af alkaliopløseligt materiale i sandet i henhold til undersøgelsesmetoden angivet i »Vorbeugende Massnahmen gegen schädigende Alkali-reaktion im Beton«, Vorläufige Richtlinie-Fassung Februar 1974, Forschungsinstitut der Zementindustrie (offentliggjort i tidsskriftet Beton nr. 5, 1974) må ikke overstige 1,5 vægtprocent i middel og ingen enkeltværdier over 2,0 vægtprocent.«*

Den tyske metode kan ikke anvendes til vurdering af stenmaterialet. Derfor finder man for stenmaterialet følgende funktionsorienterede krav i betonbeskrivelsen:

*»Mineraler, som kan fremkalde kemiske reaktioner med cementens alkaliindhold, må ikke forekomme i skadelig mængde. Undersøgelser af stenmaterialernes egnethed i så henseende skal dog kun udføres efter tilsynets nærmere bestemmelse, og udgifterne hertil afholdes af bygherren.«*

Lavalkali sulfatbestandig cement blev for første gang anvendt ved Alssundbroen. Der er efter det oplyste ikke observeret skader som følge af alkalis-kiselreaktion i Alssundbroen.

## Farøbroerne

Betonbeskrivelsen for disse broer er fra 1979. Kravene til betonens delmaterialer er interessante, fordi der er en markant afvigelse fra kravene i de umiddelbart foregående store broer. I kravkomplekset skelnes imellem anvendelse af beton med lavalkaliment og beton med almindelig portlandcement. I det første tilfælde var kravet til sandet:

*»Indholdet af alkaliopløseligt materiale i sandet, bestemt som angivet i 8.6.3, må ikke oversige 1,5 vægtprocent i middel og ingen enkeltværdier over 2,0 vægtprocent.«*

Under 8.6.3 var der følgende krav:

*»Indholdet af alkalireaktive materialer, dvs. tæt og porøs flint og eventuelt opalsandsten bestemmes ved petrografisk analyse.«*

Ved anvendelse af almindelig portlandcement var kravet til sandet:

*»Sandet skal være kalk- og flintfrit sand fra tertiære aflejringer eller nedknust af granit og skal være sorteret således, at mængden af finmateriale er reduceret til 10 pct. (øvre karakteristisk værdi ved analyser af kornfordeling).«*

Til stenene var der blandt andet stillet følgende krav:

*»Materialet må ikke indeholde alkalikiselreaktive bjergarter. Bedømmelsen heraf skal ske ved petrografisk undersøgelse og vurdering af oprindelsen, samt ved speciel undersøgelse, såfremt tilsynet anser dette for påkrævet.«*

Til betonen blev der anvendt lavalkali sulfatbestandig cement. Der blev desuden tilsat flyveaske. De anvendte sten var granitskærver fra Rønne. Sandet var fra Femø. Ved måling af 201 prøver fandt man 90 pct. fraktilen til 0,70 pct. flint, svarende til et gennemsnit på 0,45 pct. flint og en spredning på 0,25 pct. flint. Den statistiske fordeling kunne med god tilnærmelse approximeres med betafordelingen. Af de 201 prøver blev to forkastet. Den største enkeltværdi af de accepterede prøver viste 1,30 pct. flint, den laveste enkeltværdi var 0,00 pct. flint (Vejdirektoratet, 1985b).

Kravene til betonens delmaterialer i Farøbroerne har fået stor betydning for senere bygværker. Det er blevet vist, at der kan stilles relevante krav til betonens tilslag, og at kravene kan gennemføres.

## Skader

Alkalikiselreaktioner har tegnet sig for en betydelig del af registrerede beton-skader. Det fremgår dels af Alkaliudvalgets undersøgelser, dels af senere undersøgelser (Vejdirektoratet, 1980a) samt diverse tilstandsrapporter. I det følgende fremhæves nogle skadesager, hvor ansvaret er søgt placeret. Ofte ender skadesager dog i forlig.

### Betonbelægning

Skader på en betonbelægning, udstøbt i 1977–78, illustrerer tydeligt, at selv om der var mulighed for konsulenthjælp, så kunne der meget vel opstå omfattende skader.

Betonfabrikken, der leverede betonen til belægningen, lod tre børeprøver undersøge ved visuel strukturanalyse i 1977. Om tilslagsmaterialerne konkluderes følgende på basis af observationer i planslib:

*»Stenene over 4 mm forekommer gode, uden revner. Sandfraktionen synes fillerfattig. Enkelte korn har reaktionsrande.«*

Om sandfraktionen konkluderes følgende på basis af observationer i tyndslib:

*»Sandet består overvejende af velafrundede kvartskorn. Der er ganske lidt kalk, hovedsagelig fossiler af kalkskallede organismer, og kun lidt flint. Sandet forekommer fillerfattigt. Enkelte korn forventes at give alkalikiselreaktioner, og enkelte korn har allerede reageret.*

*Sandets kvalitet er tilfredsstillende, idet et lidt højere fillerindhold var ønskeligt.«*

Som samlet konklusion siges følgende om betonen:

*»Betonen har en tilfredsstillende initialkvalitet, idet luftindholdet dog burde være højere. Betonen har en ret ringe tendens til inhomogeniteter i form af enkelte pastarevner langs tilslaget, enkelte pastarevner, enkelte reaktive sand-*

korn og en del indkapslet luft. Da betonen har et lavt v/c-tal og relativt højt cementindhold, forventes den at have en god holdbarhed.«

Ved eftersyn i 1979 viste det sig, at betonbelægningerne havde fået kraftige netrevner. Udborede prøver fra betonbelægningen blev underkastet visuel strukturanalyse. Om sandfraktionen oplyses:

»Alkalikisreaktionerne er udviklet meget voldsomt i 214-2 og 3, idet betonerne er gennemsat af grove gelfyldte revner, der går gennem så solide korn som granitterne og kvartskorn i sandet. Dette viser, at i alt fald disse revner er dannet på et tidspunkt, hvor sammenkitningen af tilslag og cementpasta var god, idet revnerne ellers var forløbet langs kontakten mellem tilslag og pasta.«

Om selve sandet udtales følgende:

»Bortset fra det faktum, at sandet i betonerne i serie 2, men ikke i serie 3, har udviklet kraftige alkalikisreaktioner, må sandet betragtes som godt, hvilket det også tidligere er blevet.«

Betonbelægningen blev efterhånden så medtaget, at den blev udskiftet i 1982. Det var 4-5 år efter udstøbningen. Udskiftningen skete uden udgifter for entreprenør og betonfabrik. Bygherren betalte.

## Chloridblanding

Fra de første anvendelser af beton har der været et ønske om at opnå en tidligere styrkeudvikling, end den der kunne opnås uden indgreb i den naturlige hærtningsproces. Foruden særlige cementtyper (hurtighærdnende cementer) og varmhærdning, startede man anvendelse af tilsætning af calciumchlorid til beton (med støbevandet) allerede ved århundredeskiftet. Opdagelsen af calciumchlorid som accelerator går tilbage til før århundredeskiftet, hvor der i England af W. Millar og C. F. Nichols i 1885 udtages patent på anvendelse af calciumchlorid som accelerator for beton.

Calciumchlorid blev betragtet som den billigste og mest effektive accelerator. Den blev derfor hurtigt den mest anvendte accelerator. Der er i litteraturen beskrevet så mange forsøg med tilsætning af calciumchlorid, at man må betragte calciumchlorid som det mest udforskede tilsætningsstof til beton. Det var først mekanismen for virkningen som accelerator, der blev udforsket. Senere blev risikoen for korrosion på armering ved tilsætning af calciumchlorid undersøgt. Der er tale om en langsom bivirkning, som var vanskelig at dokumentere. Derfor kommer man ret sent frem til erkendelse af risikoen for armeringskorrosion. Det gælder såvel i udlandet som i Danmark.



## Skademekanisme

Ved tilsætning af chlorider, fx natrium- og calciumchlorid, til frisk beton øges risikoen for rustskader på slap armering og spændarmering i den hærdnede beton. Chloriderne deltager i nogen grad i den kemiske reaktion mellem cement og vand, idet en vis mængde reagerer med aluminatminerale i cementen. Der dannes komplekse forbindelser, som ikke er vandopløselige.

Så længe disse forbindelser er stabile, er de bundne chlorider ufarlige for armeringen og andre indstøbte metaldele i betonen. Ved betonens ældning i form af neutralisering af porevæsken (udludning, carbonatisering og påvirkning af svovlsur regn), frigives chloriderne. Det kritiske chloridindhold i fugtig beton afhænger af både betonens cementindhold, cementtypen og porevæskens pH-værdi.

Chloridangreb på armering medfører grubetæring. For spændarmering er chloridangreb særlig farlig. Grubetæringen accelereres af den høje spænding i spændarmeringen (spændingskorrosion).

*Danmark er blevet forskånet for skader som følge af overdreven brug af calciumchlorid som tilsætningsstof til beton. Det skyldes ikke mindst et forbud i mange kommuner mod anvendelse af calciumchlorid som tilsætningsstof til beton. I England har anvendelsen af calciumchlorid på betonfabrikker fået hovedansvaret for meget omfattende rustangreb på armering i betonelementer.*



## Udviklingen i udlandet

Den første melding via litteraturen om, at tilsætning af calciumchlorid kan medføre risiko for rustangreb på armeringen sker i begyndelsen af 1920'erne (Cottringer, 1923). Ved laboratorieforsøg konstateres det dog, at der ikke kan observeres rustdannelser selv med en tilsætning af calciumchlorid på op til 10 pct. Også fra observationer i marken konkluderes, at der ingen rustdannelser kan konstateres.

Man skal op til begyndelsen af 1940'erne før der fremkommer noget, der kan ligne en advarsel (Newman, 1943). Newman og andre konstaterer nok, at tilsætning af calciumchlorid i en mængde af 2 pct. af betonens cementindhold giver en vis rustdannelse, men at denne rustdannelse ikke udvikler sig.

I begyndelsen af 1950'erne kommer de første rapporter om forsøg, der viser, at tilsætning af calciumchlorid til spændbeton, der damphærdnes, kan give korrosion, selv om der kun bruges 2 pct. (pct. af cement) calciumchlorid. Rapporter om korrosionskader på spændbeton med tilsætning af calciumchlorid tager til i 1950'erne med G. E. Monfore og G. J. Verbecks undersøgelse som hovedværket (Monfore, 1960). Derefter konkluderer American Concrete Institute (ACI) i 1963, at anvendelse af calciumchlorid som tilsætning til spændbeton ikke bør bruges på grund af risikoen for spændingskorrosion (ACI, 1963).

I 1977 giver ACI Guide to Durable Concrete, en tabel over det tilladelige indhold af vandopløselig chloridindhold i beton. Chloridiongrænsen er 0,10 pct. af betonens cementindhold for slapt armeret beton i fugtigt miljø. Hvor chloridindtrængning ikke er mulig anbefales 0,15 pct. For spændbeton (miljøafhængig) sættes grænsen til 0,06 pct. af betonens cementindhold.

I 1983 ændres grænserne i ACIs betonnorm. Grænsen for spændbeton bibeholdes dog. Grænsen for slapt armeret beton i fugtigt, chloridholdigt miljø sættes op til 0,15 pct. Grænsen for slapt armeret beton i tørt miljø sættes til 1,0 pct., medens der i fugtige, men ikke chloridholdige miljøer sættes en grænse på 0,30 pct. Det fremhæves, at der er tale om vandopløselig chloridion i hærdnet beton, der er 28 døgn gammel. På grund af divergerende opfattelser af, hvad armeret betons kritiske chloridindhold er og vanskelighederne med reproducerbarheden for bestemmelse af vandopløselig chloridindhold i hærdnet beton fremkommer ACI med en rapport nr. 222R-85. Heri regnes der med syreopløselig chloridindhold i hærdnet beton, bestemt efter prøvningsmetoden ASTM C 114. Der foreslås et maksimalt chloridindhold i forspændt beton på 0,08 pct. af betonens cementindhold. For slapt armeret beton er grænsen 0,20 pct. af betonens cementindhold.

ACI og ASTM, American Society for Testing Materials, har ofte indflydelse på normmæssige krav i Europa. I England blev der tidligere produceret en ekstra hurtighærdnende portlandcement ved indmaling af calciumchlorid til

en hurtighærdnende cement. Da tilsætning af calciumchlorid til beton blev forbudt i England i 1977, udgik denne cementtype.

I Tyskland blev calciumchlorid som tilsætning forbudt i 1974.

I Danmark forbyder DS 411, udgave 2 fra 1973 og 3 fra 1984, ikke tilsætning af calciumchlorid; det gør derimod BBB.

Sverige har været kendt for at anvende calciumchlorid som tilsætning til beton. De svenske betonnormer fra 1979 skærper imidlertid kravene til betons chloridindhold sådan som det også sker andre steder i udlandet. Reglerne svarer til kravene i den danske betonnorm fra 1984, men der forbydes tilsætning af calciumchlorid til beton i armeringsaggressivt miljø. Ellers accepteres calciumchlorid fra tilslag, cement, vand og tilsætningsstoffer, idet betonens chloridindhold begrænses til 1,5 pct. af cementvægten, beregnet som vandfrit calciumchlorid.

### **Udviklingen i Danmark**

Tilsætning af calciumchlorid til frisk beton, enten som accelerator eller som frostvæske, synes ikke at have været omtalt i den tidlige betonlitteratur i Danmark (op til ca. 1950). Litteraturen om vinterstøbning (Hunderup, 1930) og (Ostenfeld, 1932) beskriver således kun anvendelse af opvarmet beton. De tidlige betonnormer omtaler heller ikke anvendelse af calciumchlorid. I den første danske betonnorm fra 1908 står der blot:

*»I frostvejr må der ikke uden tilsynets særlige tilladelse arbejdes med betoner, medmindre arbejdsstedet er beskyttet mod skadelig indvirkning af frosten.«*

Der findes ikke omtale af chlorider som accelerators eller frostvæske. Tværtimod står der, at anvendelse af saltvand som støbevand ikke må finde sted uden tilsynets tilladelse. Der har altså været en sund skepsis til stede imod chlorider.

I håndbogen »Beton A.B.C«, udgivet af CtO i 1944, oplyses følgende om frostvæsker:

*»Anvendelsen af frostvæsker eller tilsætning af op til et par procent af cementvægten af fx calciumchlorid bør kun ske til uarmeret beton, og man bør erindre, at sådanne tilsætninger kan give skæmmende udblomstringer på den færdige beton og forårsage, at den vanskeligt udtørres.«*

Statens Byggeforskningsinstitut og Dansk Ingeniørforenings arbejdsgruppe for beton og jernbeton påpegede i 1947 de nationaløkonomiske perspektiver ved at man i Danmark også udnyttede vinterperioden til byggeri (SBI, 1948) i lighed med USA, Canada, Norge, Sverige, Finland og Rusland. Der blev nedsat et udvalg og resultatet blev SBI-anvisning 2 »Betonstøbning om vinteren.«

Her omtales frostvæsker til beton, både som calciumchloridopløsning og som skæl. Det fremhæves, at man ved armerede konstruktioner skal udvise forsigtighed, og at calciumchlorid er bedst egnet som tilsætning til uarmerede konstruktioner. Der gøres desuden opmærksom på, at anvendelse af calciumchlorid indtil videre ikke er tilladt ved armerede konstruktioner i Københavns Kommune.

Det er usikkert, hvornår anvendelse af calciumchlorid som tilsætning til armeret beton blev forbudt i Københavns Kommune. Et svar til firmaet N. Thuesen fra Københavns Magistrat, 4. Afdeling, dateret 1957-02-21, kan belyse holdningen:

*»I skrivelse af 31. januar 1957 har firmaet forespurgt, hvorvidt der findes bestemte regler for tilsætning af calciumchlorid til mørtel og beton ved udførelse af bygningsarbejder i Københavns Kommune. Idet man går ud fra, at De herved tænker på tilsætning af en calciumchloridopløsning til mørtel og beton for at forbedre modstandsevnen mod frost, skal man meddele, at trykte bestemmelser desangående ikke findes, men at fastslået praksis går ud på, at tilsætning af frostvæsker til jernbeton ikke er tilladt, uden at godkendelse er indhentet for hver enkelt frostvæskes vedkommende, hvorimod det er tilladt til grovbeton og murermørtel at tilsætte sådanne midler, men kun i så ringe mængder, at konstruktionen hverken styrkemæssigt eller i anden henseende tager skade deraf.*

*Hvad specielt calciumchlorid angår, skal det oplyses, at afholdte forsøg har vist, at dette middel virker rustfremmende på armeringen i jernbetonkonstruktioner, og andragender om tilladelse til dette middels tilsætning til jernbetonkonstruktioner har derfor altid hidtil været afslået.»*

Med betonnormen DS 411, udgave 1 fra 1949, stilles følgende krav:

*»Anvendelse af frostvæsker, kogsalt, calciumchlorid, magniumchlorid, soda og lignende er kun tilladt, hvis de ikke skader armeringen . . .«*

Dette krav er ikke operationelt i praksis. Derfor må man ty til kommentarerne til 1949-normen (Meyer, 1950e). Heri står:

*»Det skal bemærkes, at calciumchlorid her i landet menes at skade armeringen, medens anvendelse er tilladt fx i England og Sverige, således at spørgsmålet sikkert bør tages op til fornyet overvejelse.»*

Calciumchlorid som tilsætning til armeret beton var som tidligere nævnt forbudt i København og flere steder i landet (Gregersen, 1957), blandt andet som følge af forsøg udført af E. Suenson.

En håndbog i godt betonarbejde udgives i 1951 af DIFs arbejdsgruppe for beton og jernbeton (Meyer, 1951a). Om betonstøbning i frost angives som en af forholdsreglerne:

*»Brug af frostvæsker er kun tilladt i uarmeret beton. Calciumchlorid er det mest almindelige at bruge, og af dette bør anvendes ca. 1 kg pr. sæk cement.»*

I 1949 blev der igangsat langtidsforsøg med den korrosionsfremmende virkning, som calciumchlorid tilsat beton kan have over for armering i beton. Forsøgene blev igangsat på initiativ af DIFs arbejdsgruppe for beton og jernbeton under ledelse af Niels Munk Plum. Resultaterne af undersøgelsen blev offentliggjort i 1965 i Nordisk Betong (Trudsø, 1965).

Der blev til forsøgene anvendt 72 armerede betonfliser. Betonens cementindhold varierede fra 180 til 355 kg/m<sup>3</sup> beton. Der blev anvendt en tilsætning af calciumchlorid på indtil 6 pct. af betonens cementindhold. Armeringens dæklag var 20 mm. Fliserne blev udlagt i forskellige miljøer, hvoraf det mest aggressive var ved Aggertangen nær en af Vandbygningsvæsenets hofder.

Det konkluderes, at de væsentligste faktorer, der har indflydelse på rustdannelsen efter 12 års eksponering er betonkvaliteten og mængden af tilsat calciumchlorid. Dernæst udtales:

*»Virkingen på de iagttagne revnedannelser af 2 pct. calciumchlorid eller derunder kan ikke adskilles fra indflydelsen af de øvrige nedbrydningsprocesser.«*

Statens Byggeforskningsinstitut skriver i SBI-anvisning 17 »Betonstøbning om vinteren« (Nerenst, 1953) følgende:

*»Særlig calciumchlorid har vist sig anvendelig som accelerator. Den tilsatte mængde calciumchlorid bør ikke overstige ca. 2 pct. af cementens vægt for almindelig portlandcement.«*

SBI advarer om, at armering kan ruste, især hvis betonen er utæt og kan blive udsat for skiftevis gennemfugtning og udtørring. Det nævnes, at anvendelse af calciumchlorid og frostværsker i forbindelse med armerede betonkonstruktioner ikke er tilladt i flere af landets kommuner. Det tilrådes i stedet at anvende en hurtighærdnende cement.

I Beton-Teknik 1960:4 omtales en svensk undersøgelse af risikoen for rustskader på armering som følge af tilsætning af calciumchlorid. Undersøgelsen konkluderer følgende:

*»1. Normal tilsætning på 1 til 1,5 pct. calciumchlorid af cementvægten medfører ikke øget korrosion på indstøbt jern.*

*2. I de tilfælde, hvor tilsætning af calciumchlorid kunne antages at være den vigtigste faktor og årsag til korrosion, har tilsætningen været meget stor, mellem 4 og 8 pct. af cementvægten. I en del tilfælde har sådanne lokalt begrænsede koncentrationer med påfølgende skader kunnet henføres til ufor-sigtighed, »saltning« af forme, dæk osv.*

*3. Farlig korrosion på indstøbt jern er konstateret, også hvor der ikke har været anvendt calciumchlorid, men den vigtigste årsag har da været alt for høj porøsitet i betonen.«*

En af forudsætningerne for en rentabel elementproduktion var, at elementerne hurtigt kunne afformes. Der var derfor et behov for accelereret hærd-

ning af beton. Anvendelse af accelererende tilsætningsstoffer, som fx calciumchlorid, var allerede kendt. Anvendelsen var ifølge 1949-normen kun tilladt, hvis armeringen ikke blev skadet. Maksimale tilsætningsmængder var dog ikke angivet i 1949-normen. I øvrigt var tilsætning af calciumchlorid forbudt i Københavns Kommune.

Man havde tidligere i Danmark forsøgt at finde ud af, hvor meget calciumchlorid, der måtte tilsættes beton (Trudsø, 1965). Det havde dog ikke givet et praktisk brugeligt resultat. I 1963 startede Dansk Betonforening derfor en studiekreds med arbejdsområdet »Accelereret hærdning af beton«. Kommis-soriet var:

*»Formålet med kredsens arbejde er dels at bearbejde og syntetisere den eksisterende litteratur om emnet, dels at bruge nye impulser og ny inspiration til de ingeniører, der arbejder med fremstilling af beton i praksis; specielt den mere industrielle fremstilling.«*

Studiekredsen behandlede såvel varmhærdning som accelererende tilsætningsstoffer (Skovgaard, 1965a). Om calciumchlorid siger rapporten, at den accelererende virkning beror på, at det virker som katalysator ved hydratiseringen af  $C_3S$  og  $C_2S$ . Derfor kan  $C_3A$ -frie cementer også accelereres. Rapporten fortsætter:

*»Efterhånden reagerer calciumchlorid med cementens  $C_3A$  under dannelse af Friedel's salt og neutraliseres derved. Til imødegåelse af calciumchloridets bekendte korroderende virkning er det derfor hensigtsmæssigt, at cement indeholder tilstrækkelig  $C_3A$  til efterhånden at fjerne al calciumchlorid af opløsningen.«*

Om den maksimale tilsætning af calciumchlorid siger studiekredsen:

*»Der er delte meninger om, hvor store mængder calciumchlorid, der kan tolereres af hensyn til korrosionsfaren. Det synes dog, som om en mængde på 2 pct. i forhold til cementmængden er acceptabel, hvis der er tale om god, velkomprimeret beton med lavt v/c. Mængder på 0,6 til 1 pct. er optimale ud fra styrkehensyn, men virkningen bliver mindre udpræget ved cementfinheder (Blaine) større end 400 m<sup>2</sup>/kg. Hvor der er tale om forspænding med tynde tråde i forbindelse med varmhærdning eller en cement med ringe  $C_3A$ -indhold, må calciumchloridtilsætningen dog være betydelig mindre, i hvert fald under 0,1 pct.«*

Fra Dansk Ingeniørforening, Efteruddannelsen, foreligger der en kursusberetning (1970) om »Kursus i praktisk betontechnologi«. Heri omtales tilsætninger til beton (Nørregaard, 1970) og følgende skal citeres:

*»Ulempen ved brug af calciumchlorid er, at chlorider i almindelighed virker korrosionsbefordrende på armeringsjern. Man har også iagttaget skader på armeringer i beton, hvor der er anvendt calciumchlorid, og billedet er noget diffust, men de fleste betonforskere er enige om, at tilsætning på indtil 2*

*pct. i forhold til cementvægten i almindelighed ikke skader armeringsjernerne, men calciumchlorid må i alt fald aldrig benyttes ved spændbeton.»*

I 1960 havde DIF nedsat et udvalg vedrørende tilsætningsstoffer til beton. Manuskript til en anvisning lå færdig i 1968. Anvisningen blev dog først offentliggjort som normpublikation NP-111-R i 1973, men indholdet var almindelig kendt og brugt længe før. Fra denne normpublikation kan citeres:

*»Der er delte meninger om, hvor store mængder calciumchlorid, der kan tolereres af hensyn til faren for korrosion af armeringen i betonen. En tilsætning af calciumchlorid vil formentlig betyde en vis forøgelse af korrosionstilbøjeligheden. Imidlertid spiller også betonens komprimering og sammen sætning (dens tæthed) en rolle, således at man i almindelighed kan regne med, at korrosionsrisikoen ikke er mærkbart forøget ved anvendelse af 2 pct. calciumchlorid (af cementvægten), når betonens cementindhold er på 300 kg/m<sup>3</sup>, og den i øvrigt er forsvarligt udstøbt.«*

Det fremgår af ovenstående, at medens 1949-normen var gældende kom der ret lempelige fortolkninger af, hvad der kan tillades som tilsætning af calciumchlorid til armeret beton. Den valgte grænse er i overensstemmelse med udviklingen i udlandet.

Betonnormen DS 411 udgave 2 fra 1973 giver helt faste regler for chloridindhold i frisk beton:

*»Det totale indhold af opløselige chlorider, beregnet som vandfri calciumchlorid, må ikke overstige 0,5 pct., 1,5 pct. og 2,5 pct. af cementvægten i henholdsvis spændbeton, slapt armeret beton og uarmeret beton.«*

Ved revisionen i 1984 (DIF, 1984) tager man hensyn til, at beton i aggressiv miljøklasse kan blive udsat for chloridindtrængning fra omgivelserne. Der ved lyder kravet:

*»Det totale indhold af opløselige chlorider, beregnet som vandfrit calciumchlorid, må ikke overstige følgende værdier af cementvægten: 0,5 pct. i slapt armeret beton i aggressiv miljøklasse og i spændbeton, 1,5 pct. i anden slapt armeret beton og 2,5 pct. i uarmeret beton.«*

At skelne mellem aggressiv miljøklasse og moderat/passiv miljøklasse er i overensstemmelse med den internationale udvikling. Derimod er talværdierne stærkt afvigende fra de anbefalinger, man ser fra international side.

Efter fremkomsten i 1981 af den danske portlandflyveaskecement, standardcement, er der eksempler på anvendelse af calciumchlorid som accelerator i kolde perioder. Grænserne i 1984-normen er ikke højere, end at der kan opnås en mærkbar acceleration i tidlige styrker.

BBB retter op på disse forhold, idet enhver tilsætning af calciumchlorid som accelerator til armeret beton forbydes. Desuden begrænses det tilladelige indhold af calciumchlorid i tilsætningsstoffer til armeret beton. Endelig ned sættes det tilladelige chloridindhold i frisk, armeret beton betydeligt i forhold

til 1984-normen og kommer derved på linie med internationale krav. Det skal dog bemærkes, at 1984-normen stadig er gældende og at acceleratorer på basis af calciumchlorid stadig er på det danske marked.

## Betonbeskrivelser

Medens betonnormer og håndbøger kun langsomt synes at adoptere ny viden om, hvordan betonkonstruktioner kan beskyttes imod risiko for nedbrydning, er billedet anderledes, når man betragter krav i betonbeskrivelser. Det skyldes utvivlsomt forskellen i forfatterens ansvar.

I betonbeskrivelsen for den ny Lillebæltsbro (1964) er kravet med hensyn til calciumchlorid kort og klart:

*»Tilsætning af calciumchlorid til betonen tillades ikke.«*

I det følgende omtales typiske krav til betons chloridindhold i Vejdirektoratets fælles betingelser og beskrivelse (FBB) og Almindelig arbejdsbeskrivelse (AAB) for betonbroer.

### Fælles betingelser og beskrivelse, oktober 1964

Det synes at fremgå, at en af de første betonbeskrivelser, hvor der stilles krav om begrænsning af betons urenheder i form af chlorider er i Fællesbeskrivelse og Fællesbetingelser for udførelse af betonbroer, oktober 1964. Heri står:

*»Indholdet af opløselige chlorider i delmaterialerne til beton af klasse I og klasse II skal være så lavt, at den færdige blanding højst indeholder opløselige chlorider i en mængde på 2,0 kg pr. m<sup>3</sup> beton.«*

Kravet kan ikke siges at være entydigt og operationelt. Det fremgår således ikke, om der er tale om vand- eller syreopløselige chlorider. Angivelse af prøvningsmetode savnes også. Kravet »2,0 kg chlorider pr. m<sup>3</sup> beton« kan opfattes som et krav om begrænsning af betonens indhold af chloridioner, men det er ikke helt klart. Det ville være i overensstemmelse med international opfattelse. Talværdien er under disse forudsætninger dog væsentligt højere end accepteret i dag.

### Almindelig arbejdsbeskrivelse, november 1969

Ved revisionen af ovenstående, der fremkom som »Almindelig arbejdsbeskrivelse for udførelse af betonbroer«, november 1969, ændres kravet til betons chloridindhold:

*»Indholdet af opløselige chlorider i delmaterialer og tilsætningsstoffer til armeret beton skal være så lavt, at den færdige blanding højst indeholder opløselige chlorider i en mængde på 0,5 pct. af cementvægten.«*

Denne formulering bevares i AAB 351 fra november 1973. Kravet er stadig hverken entydigt eller operationelt. Ovenstående formulering findes også i betonbeskrivelsen for Hadsundbroen (1974) og for Vejlefljordsbroen (1974).



### Almindelig arbejdsbeskrivelse, november 1977

Med »Almindelig arbejdsbeskrivelse for betonbroer«, der udkom i 1977 udgår kravet til betonens chloridindhold. Der henvises til DS 411 udgave 2 fra 1973. Dog er der følgende krav som supplement til betonnormen:

*»For alle tilsætningsstoffer skal der forelægges specifikationer vedrørende disses hoved- og bivirkninger, samt eventuelt chloridindhold.«*

Desuden henvises til DIFs »Anvisning i brug af tilsætningsstoffer til beton« fra 1973 (DIF, 1973a).

### Alssundbroen 1977

En næsten entydig formulering af kravet til chlorider i betonen findes i Alssundbroens beskrivelse fra 1977:

*»Indholdet af opløselige chlorider i delmaterialerne og i tilsætningsstoffer skal være så lavt, at den færdige blanding højst indeholder opløselige chlorider, bestemt som vandfri  $\text{CaCl}_2$  i en mængde på max. 0,5 pct. af cementvægten.«*

Formuleringen er klart inspireret af betonnormen DS 411 fra 1973. Der er dog ikke redegjort for, om der er tale om vand- eller syreopløselige chlorider. Desuden er prøvningsmetoden ikke angivet.

### Farøbroerne 1979

Farøbroernes betonbeskrivelse kom på mange måder til at sætte mål for holdbarhedskrav til beton. Til betons indhold af chlorider er kravet her:

*»Indholdet af opløselige chlorider i delmaterialerne og tilsætningsstoffer til armeret beton skal være så lavt, at den færdige blanding højst indeholder opløselige chlorider, bestemt som  $\text{Cl}^-$  i en mængde på 0,4 pct. af cementvægten.«*

## Betonskader

Der er konstateret mange skader som følge af chloridangreb på armering i beton. De fleste tilfælde synes dog at kunne henføres til chloridindtrængning fra omgivelserne (tøsalte, chlorider i svømmebadsvand og havvand).

Der er dog en del tilfælde fra begyndelsen af 1970'erne, hvor der i betonelementer (facader, altaner) har været meget kraftige chloridangreb på armeringen. Det viste sig, at betonens chloridindhold var så stort (op til 45 kg  $\text{Cl}^-/\text{m}^3$  beton), at det ikke kan forklares alene som tilskud fra betonens delmaterialer og tilsætningsstoffer. Fænomenet blev registreret tre steder i Danmark og der er ikke tale om samme betonelementfabrik. Ved at gennemgå støbebetingsbetingerne og transportforholdene er man kommet frem til, at det er sandsynligt, at der ved levering af stenmaterialerne, optaget fra lagerplads på kaj, er sket en forurening med stensalt fra et nabodepot.

Generelt må man sige, at Danmark er blevet forskånet for skader som følge af overdreven brug af calciumchlorid som tilsætningsstof. Det skyldes ikke mindst et forbud i mange kommuner mod anvendelsen. I England har anvendelsen af calciumchlorid på betonelementfabrikker hovedansvaret for de meget omfattende betonødelæggelser (rustangreb).

## Frostfarlige sten

Afsprængninger over porøse, vandmættede stenpartikler som følge af frost (frostspringere), har mest været betragtet som en kosmetisk skade.

### Skademekanisme

Sten til beton i Danmark er ikke altid et ensartet produkt med hensyn til egenskaber. Såvel densitet, bjergartstype, absorption og porøsitet vil variere meget. Porøs flint kan have en absorption på 30–40 pct., medens tæt flint og granit typisk ligger under 1 pct. Vandmættes en vandsugende stenpartikel i beton og ligger den nær betonoverfladen, vil der i frost/tø-perioder kunne fremkomme et springersår. Har betonen et stort indhold af vandsugende (frostfarlige) stenpartikler, kan beton i våde omgivelser få meget omfattende nedbrydning som følge af frost/tø-påvirkning med total gennemrevning af betonen til følge. Dette kan dels gå ud over betonens styrke, dels ud over armeringens rustbeskyttelse.

### Betonnormen 1908

Denne norm (DIF, 1908b), der var gældende for almindelige jernbetonkonstruktioner, som forekom i husbygning, stillede følgende krav til betons stenmateriale:

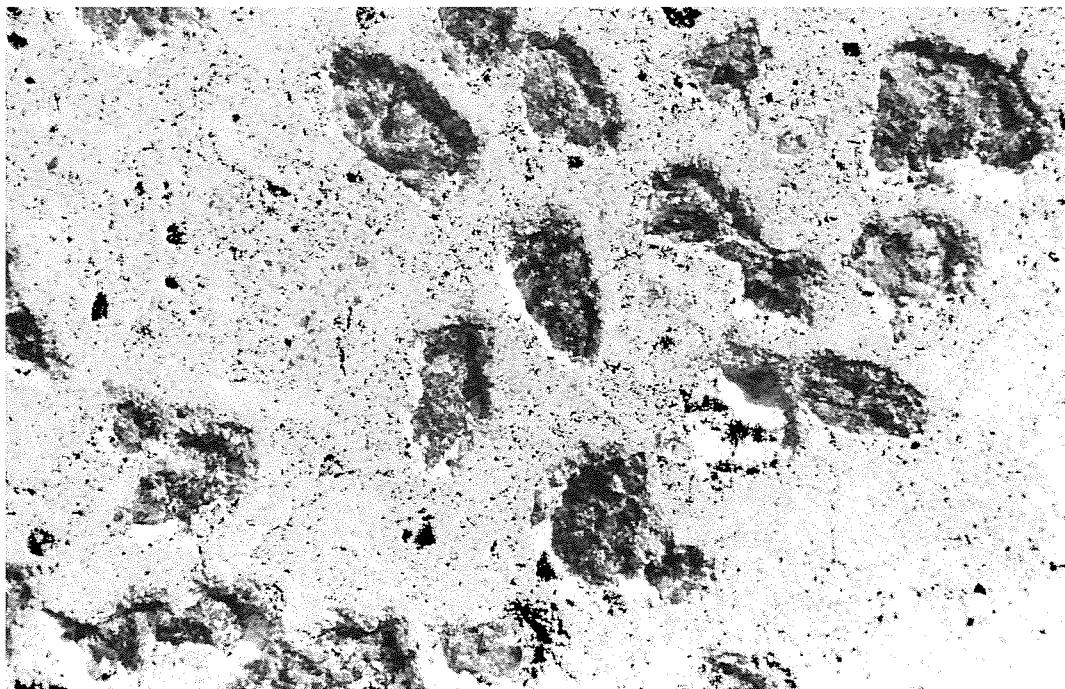
*»Skærver og singels skal være af et tilstrækkeligt hårdt materiale til at give en stærk beton, rene og fri for fremmede indblandinger. Kornstørrelsen må stå i forhold til afstanden mellem jernstængerne og til konstruktionsdelens godstykkelse, og må som regel ikke overskride 25 mm.«*

Det synes klart, at kravene er stillet af styrke- og udstøbningshensyn.

### Lærebøger

Året før (Suenson, 1907c) udkom den første danske lærebog om jernbeton. Heraf lærer man følgende:

*»Hyppigst blandes betonen af cement, betongrus og skærver, og disse bør da være af en stærk og uporøs stenart. Man skal navnlig vogte sig for porøse kalkstykker, der, hvis de ligger i nærheden af betonens overflade, kan mætte sig med vand og sprænges af frosten.«*



*Frostspringere, dvs. afsprængning af beton over en vandmættet, porøs sten som følge af vandets frysning, kan ses i mange ældre betonbygværker. Fænomenet kendes dog også for tætte sten som granit, specielt i forbindelse med tæt forskalling, fx stålforme. Er der kun få springere, er der næppe tale om et holdbarhedsproblem for betonkonstruktionen. Forekomst af mange frostspringere kan dog forringe kvaliteten af dæklag over armeringen og dermed nedsætte en betonkonstruktions holdbarhed.*

I den første danske lærebog om byggematerialer (Suenson, 1911b) fremhæves dette forhold også:

*»Hærdnet beton, der er tæt og stærkt, vil ikke beskadiges af frosten, såfremt materialerne er frostfaste, men indeholder den porøse sten, der ligger så nær overfladen, at de i regnvejr kan mætte sig med vand, vil frosten sprænge stenene, så at den udenfor liggende beton skaller af.«*

### **Normrevisioner og vandbygningsregler**

Normrevisionen i 1913 og 1921 ændrede ikke kravene til betonens stenmateriale. Vandbygningsreglerne fra 1926 anbefaler følgende:

*»Sand, sten og grus skal, medmindre andre materialer foreligger, som må anses for at være lige så modstandsdygtige, så vidt muligt tages fra strand eller havbund og være fri for dyreskaller.«*

Ved revisionen i 1930 af 1921-normen stilles krav til stenenes frostbestandighed på følgende måde:

*»Stenene skal være af et tilstrækkeligt hårdt materiale til at give en beton af fornøden styrke, rene og fri for fremmede iblandinger. Kan betonen blive udsat for frost, skal stenene være frostfaste. Størrelsen må stå i passende forhold til afstanden mellem jernene og til konstruktionens godstykkelse. Størrelsen bestemt ved pladesigter med cirkulære huller, skal som regel være følgende:*

*Større end 40 mm ..... 0 vægtprocent  
Større end 30 mm ..... højst 10 vægtprocent  
Mindre end 5 mm ..... højst 5 vægtprocent«*

### **Betonnormen 1943**

Med denne norm (DIF, 1943) får man følgende krav:

*»Kan betonen blive udsat for frost, bør stenene være frostfaste, og porøse kalksten må derfor ikke forekomme i skadelig mængde. Kan overfladesprængninger ikke tolereres, må porøse kalksten ikke forekomme.«*

Der er altså tale om vagt formulerede krav, som kræver en nærmere specifikation i en betonbeskrivelse. Det skete da også. En typisk beskrivelse fra en bro i Vejle Amt (1941) er følgende:

*»Stenene skal være tilstrækkelig hårde, rene, frostfaste og fri for fremmede iblandinger. Størrelsen må ligge under 30 mm.«*

Som tidligere omtalt var 1943-normen en foreløbig udgave, der skulle medvirke til at spare på landets ressourcer, især cement og armering.

### **Betonnormen 1949**

Med 1949-normen kommer der en drejning af kravet:

*»Korn, der er skadelige for betonen, må ikke forekomme i mærkbar mængde. Kan betonen blive udsat for frost, og kan skæmmende overfladesprængninger ikke tolereres, må gruset således ikke indeholde sten eller grove sandkorn, der ikke er frostfaste, fx porøse kalkkorn.«*

De projekterende skulle således tage stilling til, om frostspringere kunne tolereres. I afsnittet om kvalitetsundersøgelse står der i 1949-normen:

*»Mængden af smuldrende, forvitrende eller porøse korn bestemmes ved frasortering; skønnes mængden at være for stor, skal grusets egnethed undersøges nærmere.«*

Da egnethed ikke blev defineret, var kravet ikke operationelt i praksis. Et mere specifikt krav i 1949-normen om kalkindholdet var heller ikke altid operationelt:

*»Er indholdet af kalkkorn i stenene større end 10 vægtprocent, bør stenenes egnethed eventuelt undersøges nærmere.«*

I praksis blev grænsen ofte sat til 10 pct., selv om 1949-normens kommentarer (Meyer, 1950e) i princippet gav andre muligheder:

*»Kalkkorn kan være hårde og uporøse, og de er så i de fleste tilfælde uskadelige, men de gør dog betonen særlig let angribelig selv for svage syrer. Hvis de sten behøver ikke at være kalk. Hårde og uskadelige kalksten forekommer sjældent i danske grussorter.«*

Heller ikke i håndbogen »Godt Betonarbejde« (Meyer, 1951a) ser man anvisninger på, hvorledes stens egnethed til beton kan eftervises. Nu er 10 vægtprocent frostfarlige korn i stentilslaget så meget, at der ofte kom ganske mange frostspringere.

Derfor bliver kravene hyppigt strammet i praksis. Til broarbejder (Almindelige betingelser for udførelse af betonbroer) kan man fx i 1951 finde følgende krav:

*»Til jernbeton må stenstørrelsen ikke overstige 30 mm og til grovbeton 60 mm. Stenenes størrelse bør variere jævnt fra de mindste til de største. Stenene skal være fuldstændig fri for kalk.«*

Der var en forkærlighed for anvendelse af »sømaterialer.« Dette skyldes sikkert 1949-normens afsnit om særlige regler for vandbygningskonstruktioner, der favoriserede »sømaterialer« med følgende:

*»Sand, grus og sten skal, medmindre der foreligger andre materialer, der må anses for lige så modstandsdygtige, såvidt muligt tages fra strand eller havbund og være fri for dyreskaller.«*

Sømaterialer viste sig imidlertid ofte at give mange frostspringere. I Alkaliudvalgets vejledning 2 er problemet behandlet indgående (Jeppesen, 1961). For at undgå problemerne går man efterhånden over til anvendelse af skærver af granit og tilsvarende frostfaste bjergarter. I Almindelige betingelser for udførelse af betonbroer 1960, ser man således følgende krav for beton af klasse I:

*»Stenmaterialet skal bestå af granitskærver med kubisk kornform og med egnet kornkurve. Granitten skal være god og sund og indholdet af fremmede mineraler (herunder flint) må ikke overstige 2 vægtprocent.«*

For beton af klasse II var kravene derimod:

*»Stenmaterialet skal bestå af stærke og faste mineraler. Det samlede indhold af bløde og porøse (frostfarlige) som fx bløde kalksten, lerjernsten, skifrede og forvitrede sten eller lignende, skal være ubetydelig og må ikke overstige 2 vægtprocent.«*

Disse krav holder sig i princippet uændret op til og med Almindelig arbejdsbeskrivelse for udførelse af betonbroer, AAB 351 fra 1973. Der sker mindre ændringer i 1964, idet 2 pct-kravet for klasse I ændres til, at granitten ikke må indeholde fremmede bjergarter. For klasse II ændres de 2 vægtprocent til 3 vægtprocent.

1949-normen havde en ret løs beskrivelse af, hvorledes kontrollen med frostfarlige sten skulle gennemføres. Det medførte, at der blev publiceret nye forslag til prøvningsmetoder. SBI-anvisning 27 om vejledning i betonkontrol (SBI, 1956a) giver en mere detaljeret prøvningsbeskrivelse (side 85) end DS 411, men udbygger ikke kravene i DS 411, hvor der er tvivl (side 51).

Beton-Bogen (Meyer, 1965) går ikke videre end SBI-anvisning 27.

Den metode, som kom til at dominere prøvningen, kom fra CtO og blev publiceret i Beton-Teknik 4/10/1970 (CtO, 1970). Her kritiseres kravene i 1949-normen med følgende ord:

*»For kalkindholdets vedkommende angiver normerne vejledende mængder, og dette er formentlig grunden til, at mange betonproducenter især har interesseret sig for grusets indhold af kalkkorn, til trods for at der i de fleste naturlige danske grusmaterialer meget vel kan forekomme ikke ubetydelige mængder af porøse, frostfarlige korn, som ikke er kalk, fx porøs flint.«*

CtOs metode til bestemmelse af porøse sten i grus til beton byggede på en håndsortering af indsendte stenprøver fra rekvirenterne. Der blev foretaget en sortering i fem grupper, nemlig:

1. Tætte sten
2. Overvejende tætte sten
3. Overvejende porøse sten
4. Porøse sten
5. Smuldrende og forvitrende sten

CtO foretog dog ikke en tolkning af analyserne, idet følgende fremføres:

*»I det hele taget skal denne undersøgelse kun opfattes som et grundlag for rekvirenten til selv at vurdere om det foreliggende grusmateriale vil udvise fornøden frostbestandighed i den beton og under de forhold, hvor de skal anvendes.«*

### **Betonnormen 1973**

Ved normrevisionen i 1973 tages der helt klart stilling til skader som følge af frostspringere:

*»Såfremt frostspringere i betonens overflade skønnes at frembyde korrosionsfare for armeringen, tilrådes det foruden luftindblanding at anvende grusmaterialer med et begrænset indhold af ikke-frostfaste korn.«*

Når betonbeskrivelser ikke specificerede en særlig begrænsning af frostfarlige korn i betons stenmateriale kunne der opstå konflikter. Kravet i 1973-normen var nemlig et rent funktionskrav:

*»Gruset skal bestå af materialer med en sådan styrke og bestandighed, at den foreskrevne betonstyrke kan opnås og bevares i den pågældende konstruktion.«*

## Grusnormen 1977

I 1973-normen blev der henvist til, at krav, klassificering og prøvningsmetoder skulle være i overensstemmelse med gældende Dansk Standard. De relevante standarder var imidlertid stadig under udarbejdelse ved 1973-normens ikrafttræden.

I 1977 udkom DS 401, DIFs norm for sand-, grus- og stenmaterialer. Heri blev det krævet, at stenmaterialers frostfarlighed blev deklareret på basis af funktionsprøvning i beton i henhold til gældende Dansk Standard. Denne standard var imidlertid stadig under udarbejdelse ved udgivelse af grusnormen i 1977. Der er i øvrigt endnu ikke (i 1988) vedtaget en Dansk Standard for funktionsprøvning af stenmaterialer med hensyn til frostbestandighed.

CtOs Beton-Bogen, der udkom i 1979, var tænkt som en håndbog for alle, der havde brug for viden om fremstilling af god beton og om betons egenskaber. Også heri er der tale om en løs formulering:

*»Beton, som i vandmættet tilstand kan blive udsat for frost, bør fremstilles med et tilslagsmateriale, der overvejende består af frostfaste korn. Hvor stort indhold af frostfarlige korn, der kan tolereres, afhænger af risikoen for en høj vandmætningsgrad i vinterperioden, dvs. blandt andet af den konstruktive udformning, af muligheden for reparation af eventuelle skader og af disses karakter (farlige eller blot skæmmende) samt endelig og ikke mindst af, om betonen kan blive udsat for tøsalt. En særlig variant af frostproblemet foreligger ved vinterstøbning; også her skal tilslaget naturligvis være frostbestandigt.«*

Dansk Betonforenings publikation nr. 10 fra 1981 (Christensen, 1981) omhandler måling og vurdering af hærdnet betons holdbarhed, herunder kvalitetskarakterisering af sten i beton. Analyse af frostspringere i mikroskop omtales, men der angives ingen forslag til krav og prøvningsmetode, således at beton kan sikres imod frostspringerdannelse, når beton kan fryse i vandmættet tilstand. Først med udgivelsen af Beton-Teknik 1/5/1982 (Christensen, 1982) får rådgivende ingeniører og entreprenører mere konkret viden om problemet frostspringere og hvorledes man kan undgå problemerne i praksis. Følgende slås fast:

*»De væsentligste skader på beton forårsaget af sten er frostspringere. Disse opfattes almindeligvis i det væsentlige som kosmetiske skader, men reducerer lokalt dæklagstykkelserne, medmindre de repareres omhyggeligt. Der er dog eksempler på komponenter fra husbygningskonstruktioner, hvor indholdet af porøse sten i betonerne har været så væsentligt, at konstruktionsdelene har været totalskadede af frost.«*

Det påpeges, at absorption, porøsitet og densitet er afgørende parametre til beskrivelse af stenmaterialers potentielle frostfarlighed. Om indflydelsen på frostbestandigheden af sten i beton konkluderes:

»Frostforsøg viser forringet frostbestandighed med faldende densitet. Observationer af denne art viser, at frostspringere kan undgås, såfremt de porøse flintsten fjernes ved densitetsortering. Det må dog erindres, at den hvide skorpe på flint består af samme bjergart som ovenstående. Disse sammensatte flintsten bør derfor have minimum af hvid skorpe til mere udsatte konstruktioner såfremt frostspringere totalt skal undgås.«

Beton-Teknik 1/05/1982 slutter af med en klassifikation af sten til beton, omfattende tre materialeklasser. Denne klassifikation er de første talbaserede krav til stenmaterialer til beton i Danmark efter den løse formulering i 1949-normen om, at stenmaterialer til beton højst må indeholde 10 pct. kalk. Beton-Teknik 1/05/1982 slutter af med følgende forbehold:

»Der pågår stadig nyt forsknings- og udviklingsarbejde, og det er sandsynligt, at især klassifikationsforslaget om nogle år trænger til revision. Forslaget er udarbejdet således, at noget i retning af total sikkerhed mod skader forårsaget af tilslagsmaterialerne vil kunne opnås selv i de hårdest belastede miljøer og er på den måde konservativt.«

I 1984 udsendte Byggeteknik, Teknologisk Institut, rapporten Detailkrav til holdbar beton (Damgård Jensen, 1984b). Heri foreligger der allerede en revision (tabel 5) af kravene i de materialeklasser, som er foreslået i Beton-Teknik 1/05/1982.

I 1986 vedtoges BBB med krav til stens porøsitet, afvigende fra ovenstående, se tabel 2 i BBB.

I 1987 revideredes Beton-Teknik 1/05/1982 og udkom med krav til sten identisk med kravene i Basisbetonbeskrivelsen.

*Tegning på modstående side. I slutningen af 1800-tallet anvendte man ved opførelsen af Middelgrundsførtet bl.a. prefabrikerede betonblokke, støbt på en grund ved Tørborg. Blokkene blev sejlet ud, sænket og fuget under vand med cementmørtel ved kinippling (efter den engelske ingeniør Kinipple). Iflg. (Christensen, 1984) er molerne med betonblokke en del forvitrede; de har i det lange løb ikke kunnet modstå fugtigheden og søvandet, men de er da også støbt med et meget ringe cementindhold, svarende til 1:4:7. At betonsammensætningen var problematisk, blev man klar over allerede den første (streng) vinter under opførelsen. Det var især i zonen omkring daglig vande, hvor søen arbejder hårdt, at 1:4:7 var for svag. Derfor gik man over til at udføre den mest udsatte overflade af dækblokke mv. i en tykkelse af ca. en halv meter under overfladen af blandingen 2:4:7.*



## YDRE PÅVIRKNINGER

Betons fremgang som byggemateriale i begyndelsen af dette århundrede var motiveret af prisbillighed og evne til at modstå ydre påvirkning fra miljøet bedre end andre byggematerialer. Suenson skriver (Suenson, 1931b):

*»Til de egenskaber, der har båret jernbetonen frem, hører for det første dens store varighed både i vand og luft. Den angribes ikke som træ af svamp eller som jern af rust, og dens brandsikkerhed overgår alle andre byggematerialers.«*

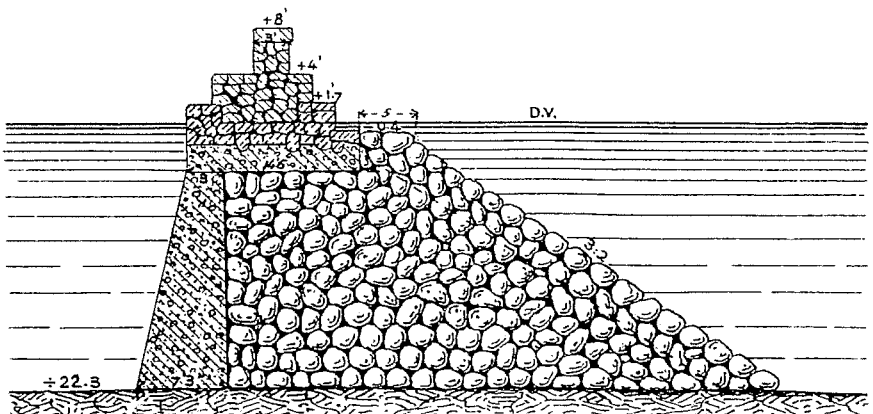
Suenson stod ikke ene med denne mening. CtO gav således følgende karakteristik af betonens evne til at modstå ydre påvirkning (CtO, 1944):

*»Beton er modstandsdygtig mod angreb af vejr og vind, vand og ild, og hverken rotter, insekter, svamp eller råd ødelægger den. Den styrke, god beton har opnået, forringes ikke med tiden, dersom betonen blot har været rigtigt udført, og den ikke bliver udsat for særlige påvirkninger, fx gennemsvivning af vand.«*

Der er her et særligt forbehold for særlige påvirkninger. Dette uddyber CtO sammesteds (CtO, 1944), med følgende:

*»Beton angribes derimod af visse kemikalier og tåler navnlig ikke syrer. I de fleste tilfælde kan man med passende beklædning eller overfladebehandling på effektiv måde beskytte betonen mod sådanne angreb, men overalt, hvor der er tale om at anvende beton på steder, hvor kemiske påvirkninger kan forventes, bør man rådføre sig med særlige sagkyndige.«*

Den indstilling, at beton kan gøres bestandig over for ydre påvirkninger har holdt sig til i dag; blot er de nødvendige forudsætninger (kravene) herfor blevet skærpet ved hver normrevision siden 1908.





*Beton er ikke bestandig over for syre. Selv syre i landbruget, fx fra ensilage, kan i mange tilfælde nedbryde betons overfladebeskyttelse, hvis den ikke er særlig egnet til formålet; og dermed er cementpastaen ubeskyttet og vil hurtigt nedbrydes.*

*I betonnormen DS 411 udgave 3 fra 1984 anbefales en membran som særlig foranstaltning i særlig aggressive miljøer. Derimod fremhæver BBB 86/87, at overfladebeskyttelse i form af imprægnering og malebehandling ikke kan anses for at være en konstruktiv beskyttelse.*



# Carbonatisering

Mange daterer fejlagtigt opdagelsen af fænomenet »betons carbonatisering« til april 1976, hvor der i London blev afholdt et symposium om emnet »Carbonation of concrete«, organiseret af RILEM. Dette er imidlertid ikke korrekt. Dels fremgik det af litteraturhenvisningerne i de enkelte foredrag på symposiet, dels omtaler Suenson allerede fænomenet i sin første lærebog om jernbeton (Suenson, 1907c). Suenson skriver således:

*»Den slutning ligger da nær, at også jernet i betonen kun er beskyttet, indtil karbonatdannelsen når ind til det, og denne tanke virker jo straks lidt uhyggelig.*

*Imidlertid tør man vist gå ud fra, at når betonen er fremstillet tilstrækkeligt tæt, vil dens porer yderligere blive stoppet ved karbonatdannelsen, således at denne standser af sig selv et stykke inden for overfladen.*

*Der er næppe grund til at nære ængstelse i den retning, indtil nu foreligger der kun gode erfaringer.*

*Skulle det mod forventning vise sig, at jernet efter en længere årrække begynder at fortæres, så ville det naturligvis være højst uheldigt; men noget dødsstød for jernbetonen bliver det næppe, dertil har den for mange gode egenskaber. Ved at fluatere betonens overflade eller ved andre midler, vil det sikkert lykkes at komme ud over det vanskelige punkt.«*

Suensons sidste lærebog om jernbeton (Suenson, 1931b) udkom i 1931. Denne bog var den grundlæggende bog om blandt andet betontechnologi for ingeniører i en meget lang årrække. Heri skriver Suenson om betonens evne til at hindre rustdannelse, at det er betonens alkalitet og tæthed, der er de to årsager til den beskyttende virkning. Det er værd at mærke sig et væsentligt afsnit (side 30):

*»Kalciumhydroxid er ganske vist meget tilbøjeligt til at optage kulsyreanhydrid fra luften og omdanne sig til kalciumkarbonat, og en sådan omdannelse sker der også i betonen, overalt hvor denne er i berøring med luften, men god beton er for tæt til, at kulsyren kan trænge ind, og karbonatdannelsen bliver derfor rent overfladisk.*

*Er der revner i betonen, gennem hvilke luften kan trænge ind til jernet, er muligheden for et lokalt rustangreb til stede, men er revnerne fine, vil luftcirkulation i dem være så ringe, at angrebet ingen betydning får under normale forhold.«*

Suenson dokumenterer ovenstående påstand med henvisninger til forsøg, beskrevet i litteraturen. Senere lærebøger i jernbeton, som også omhandler betontechnologi (Efsen, 1948), omtaler ikke carbonatisering. Holdningen til carbonatiseringsrisikoen kan bedst udtrykkes ved Suensons ord (Suenson, 1931b):

*»Efter alt, hvad der foreligger, vil jernet i veludført betonbygværk være beskyttet mod rust i en lang årrække. Alle erfaringer i modsat retning stammer fra cementfattig beton eller dårligt arbejde.«*

Der ikke noget at sige til, at ingen inden for byggeriet i Danmark betragtede carbonatisering som et problem, før RILEM International Symposium on Carbonation of Concrete fandt sted 5.–6. april 1976 i London.

På Nordisk Betonforskningsmøde i Oslo 1976 fremlagde Pihlajavaara et carbonatiseringsdiagram til estimering af carbonatiseringsdybder i beton, når betonens alder,  $v/c$ -forhold (trykstyrke) og fugtighedsforhold er kendt. Dansk Betonforenings publikation nr. 1977:1 om betons holdbarhed medtog dette diagram. Da CtOs Beton-Bogen i 1979 (CtO, 1979) blev udgivet, var dette diagram også medtaget. Dermed var kendskab til betons carbonatisering spredt til projekterende og udførende ingeniørfirmaer i Danmark.

Efter den periode ser man også, at carbonatisering medtages som skadeårsag ved afgivelse af syn og skøn. Der stilles imidlertid ikke i danske betonnormer direkte krav om begrænsning af betons carbonatisering. Indirekte er der dog krav. Der er således krav om begrænsning af betons  $v/c$ -forhold og krav om, at frie betonoverflader ved udstøbning skal passende beskyttes mod udtørring.

En nærmere omtale af, hvorledes kravene til betons sammensætning skæres ved (næsten) hver normrevision, findes i afsnittet om dækklag.«

## **Skademekanisme**

Luftens indhold af kuldioxid påvirker beton. Kuldioxid kan trænge ind i betonens revner og grovporøsiteter. Desuden sker der en diffusion af kuldioxid ind i betonens kapillarporer. Denne kuldioxid reagerer med betonens porevæske og cementpasta (Poulsen, 1985) og omdanner calciumhydroxid gennem en kemisk proces til calciumcarbonat. Medens calciumhydroxid i betonens cementpasta medfører, at betonen rustbeskytter armeringen, er rustbeskyttelsen ophævet, når calciumhydroxid i armeringens betondækklag er omdannet til calciumcarbonat. Derfor vil en gennemcarbonatisering af armeringens betondækklag medføre rustskader for udendørs beton, hvis der ellers er tilstrækkelig fugt til stede.

Carbonatiseringsfronten (grænsen mellem carboniseret og ucarboniseret beton) trænger ind i armerede betonkonstruktioner med aftagende hastighed, men vil før eller siden nå armeringen.

Indeholder betonen chlorider (fx fra sømaterialer, tilsætningsstoffer, afsyring), kan chloriderne ikke bindes i carboniseret beton. Det betyder, at der foran carbonatiseringsfronten kan forekomme en væsentligt højere chloridkoncentration end svarende til betonens gennemsnitsværdi (Tuutti, 1982). Derved kan rustskader forværres væsentligt (Thaulow, 1987).

## Elementbyggeri

For at øge dagsproduktionen af betonelementer, således at fabrikkerne kunne leve op til de produktionsmål, der blev sat efter anden verdenskrig, var det nødvendigt at accelerere betons styrkeudvikling på fabrikkerne. Det samme krav fandt man også i andre europæiske lande. I Danmark blev det valgt at foretage en accelerering ved varmhærdning. I England valgte man også at accelerere hærdningen ved tilsætning af calciumchlorid, jf. afsnittet om »Chloridblanding.« Det medførte omfattende korrosionsskader i elementbyggeriet i England.

Det har dog nu vist sig, at valget af varmhærdning måske ikke har været helt uden bivirkninger. Det må betragtes som en ikke ringe bedrift, at det til elementstøbning var muligt at udvikle betoner med så lavt  $v/c$ -forhold som 0,50 til 0,55 og samtidig anvende et forholdsvis beskedent cementindhold. Som nævnt tidligere var 1949-normens krav til facadeelementers beton, at  $v/c$ -forholdet var under 0,85, når der blev anvendt hurtighærdnende portlandcement. Det strengeste krav i 1949-normen blev stillet til beton ved vandlinien i havvand eller ferskvand udsat for frost eller beton udstøbt under vand. Her skulle  $v/c$ -forholdet være under 0,75 når der blev anvendt en hurtighærdnende portlandcement; ellers 0,55.

Det har senere vist sig (Bache, 1966), at varmhærdning af beton kan øge intensiteten af pastarevner, makro som mikro. Også kapillarporøsiteten kan øges (Sellebold, 1974). Begge forhold medfører øget carbonatiseringshastighed, alt andet lige. Carbonatiseringsproblemet kan som tidligere omtalt næppe siges at have været kendt blandt praktikere, da elementbyggeriet blev udviklet. Derfor blev risikoen for øget carbonatiseringshastighed efter varmhærdning da heller ikke undersøgt. Forholdene kan end ikke siges at være fuldt klarlagt i dag.

Det kan ikke afvises, at anvendelse af varmhærdning har medført, at der er opstået flere korrosionsskader (rust og sprængninger) end tilfældet ville have været, hvis der ikke havde været anvendt varmhærdning, alt andet lige.

## Standardcement

Efter oliekrisen kom der en stærkt stigende produktion af flyveaske, idet kraftvarmeværkerne gik over til kul som brændsel i stedet for olie. For at udnytte noget af denne flyveaske gik man over til at erstatte en del af klinkermaterialet i portlandcement med flyveaske. Den derved fremkomne modificerede portlandcement er en portlandflyveaskecement med 20–25 vægtprocent flyveaske. Den betegnes »Standardcement« i Danmark.

Udenlandske forsøg, (fx Shubert, 1976), har vist, at carbonatiseringshastigheden for en beton stiger, når en del af portlandcementen erstattes med flyveaske, alt andet lige. For at undersøge cementtypens indflydelse på carbo-

natiseringsforløbet har Aalborg Portland gennemført undersøgelser af carbonateringshastigheden hos beton støbt med forskellige danske cementtyper, herunder Standardcement (Rasmussen, 1984). Efter 1 år konkluderes:

*»Resultaterne tyder på, at beton med lavalkali sulfatbestandig cement karbonatiserer langsommere end hovedparten, samt at Standardcement muligvis resulterer i det modsatte, specielt når mikrosilica tilsættes.«*

Standardcement medførte efter sin fremkomst forskellige problemer i praksis for entreprenører og murermestre, blandt andet ved udførelse af betongulve. Aalborg Portland udsendte senere en rapport, der sammenfattede den foreliggende viden om portlandflyveaskecement (Justesen, 1985a). Heri konkluderes:

*»Der synes således at være almindelig enighed om, at beton med portlandflyveaskecement karbonatiserer noget hurtigere end beton med portlandcement i betonens første levetid, og at det er vigtigt at sikre betonen gunstige hærdningsbetingelser, dvs. beskyttelse mod udtørring længst muligt, med henblik på at gøre denne forskel mindst mulig.«*

Med udgangspunkt i udenlandske forsøg konkluderes det (Justesen, 1985a):

*»Sammenfattende om de her refererede undersøgelser, såvel som andre, ikke refererede undersøgelser, anses det for rimeligt at konkludere, at karbonatiseringsdybden for beton fremstillet med portlandflyveaskecement kun er lidt forskellig fra, hvad der forekommer i beton med portlandcement efter 10–30 års forløb. En eventuel mindre forskel opstår i betonens første levetid og skyldes især utilfredsstillende hærdningsvilkår i de første dage/uger efter støbningen.«*

Betonnormen DS 411 fra 1984 (DIF, 1984) tager ikke højde for ovenstående resultat. Det gjorde derimod BBB (ATV, 1986):

*»Ved bestemmelse af  $v/c$ -forholdet medregnes flyveaske med aktivitetsfaktoren 0,5 og mikrosilica med aktivitetsfaktoren 2,0. Dette gælder også flyveaskeandelen i portlandflyveaskecement.«*

Hvis aktivitetsfaktoren 0,5 for flyveaske synes velmotiveret ud fra de forsøg, som Aalborg Portland har udført (Rasmussen, 1984), så kan aktivitetsfaktoren på 2,0 for mikrosilica næppe være det. Nu kan der naturligvis ved fastsættelse af aktivitetsfaktorerne være tænkt på andre nedbrydningsfænomener end netop korrosion af armering som følge af carbonatisering. Endelig må man erindre, at der er sket en væsentlig stramning i kravene til  $v/c$ -forholdene siden 1973-normen. I moderat miljøklasse var/er kravene til  $v/c$ -forholdet følgende:

- 1973-normen: maksimalt, karakteristisk  $v/c$ -forhold under 0,70
- 1984-normen: maksimalt  $v/c$ -forhold under 0,60
- 1986-BBB: maksimalt  $v/c$ -forhold under 0,55

Desuden er der sket en skærpelse af kravet til tykkelsen af armeringens dæklag, idet tolerancen skal indregnes siden 1981-07-03.

I en skadesag skal det erindres, at der i betonnorm og betonbeskrivelser stilles krav til  $v/c$ -forhold mv; der stilles derimod ikke krav om en maksimal carbonatiseringsdybde efter en given årrække. Mange andre forhold spiller i øvrigt ind for carbonatiseringshastigheden, specielt cementtype, komprimering og efterbehandling.

Efter fremkomsten af Dansk Ingeniørforenings anvisning om anvendelse af flyveaske og mikrosilica blev Basisbetonbeskrivelsen rettet således at aktivitetsfaktorerne var i overensstemmelse med anvisningen, dvs. 1 for flyveaske i Standardcement (Byggestyrelsen, 1987).

### **Sulfatbestandig cement**

I litteraturen angives det, at beton der er støbt med slaggecement og med lavt  $C_3A$  indhold, carbonatiserer ca. 50 pct. dybere end beton støbt med almindelig portlandcement, alt andet lige (Meyer, 1968). Dette er ikke i overensstemmelse med resultaterne af Aalborg Portlands undersøgelser (Rasmussen, 1984). I Norge har man også observeret en større carbonatiseringshastighed for beton støbt med sulfatbestandig cement (Miller, 1986).

Hverken i 1984-normen (DIF, 1984) eller i Basisbetonbeskrivelsen (ATV, 1986) er kravene til  $v/c$ -forhold gjort afhængig af cementtypen, bortset fra til Standardcement i BBB 86 fra december 1986. Dette er så fraveget ved Byggestyrelsens udgave fra marts 1987 (Byggestyrelsen, 1987).

## **Chloridindtrængning**

Chloridindtrængning fra fx havvand og angreb på armeringen var en af de nedbrydningsårsager, som, sammen med sulfatangreb fra havvandet, var mest frygtet i dette århundredes begyndelse. Der blev udført forsøg både med uarmeret beton i havvand og med jernbeton i havvand. Desuden blev ældre havvandskonstruktioner undersøgt for at bestemme langtidsvirkningerne fra havvand. Det skete ikke alene i Danmark, men overalt, hvor man havde interesse i havvandskonstruktioner, herunder jernbetonskibe. Suenson sammenfatter erfaringerne (Suenson, 1931b) således:

*Af beretningerne fra de internationale skibsfartskongresser 1908, 1912 og 1923 fremgår, at man de fleste steder har gjort gode erfaringer med beton i havvand, når blot blandingen har været fed, og jernet har ligget 2 til 3 cm fra overfladen. Endvidere fremhæves betydningen af at stryge med kultjære eller ren cement.»*

I en artikel om »Havnenes rustproblemer« (Mortensen, 1954), skriver havneingeniør A. Mortensen, Aalborg:

*»I Danmark har den udstrakte anvendelse af jernbeton i havnebygning medført, at havnenes specielle rustproblemer er blevet mindre end i de stålproducerende lande.«*

Dette udsagn må tages som udtryk for, at der næppe har været overraskende store betonødelæggelser på havvandskonstruktioner af armeret beton. Det understøttes også af, at andre artikler om »Korrosionsårsager og skadetyper« (Knuth-Winterfeldt, 1954) og om »Katodisk beskyttelse og havnens rustproblemer« (Arup, 1956) slet ikke kommer ind på armeringens rustdannelse som følge af chloridangreb.

Korrosionscentralen holdt i 1977 et møde om »Korrosion og armering i beton« (Arup, 1976a). Heri konkluderer Hans Arup:

*»Det skal kun påpeges, at man i sund beton med ikke for lavt cementindhold kan tolerere en vis chloridkoncentration, ofte svarende til en fuldstændig mætning af betonen med havvand.«*

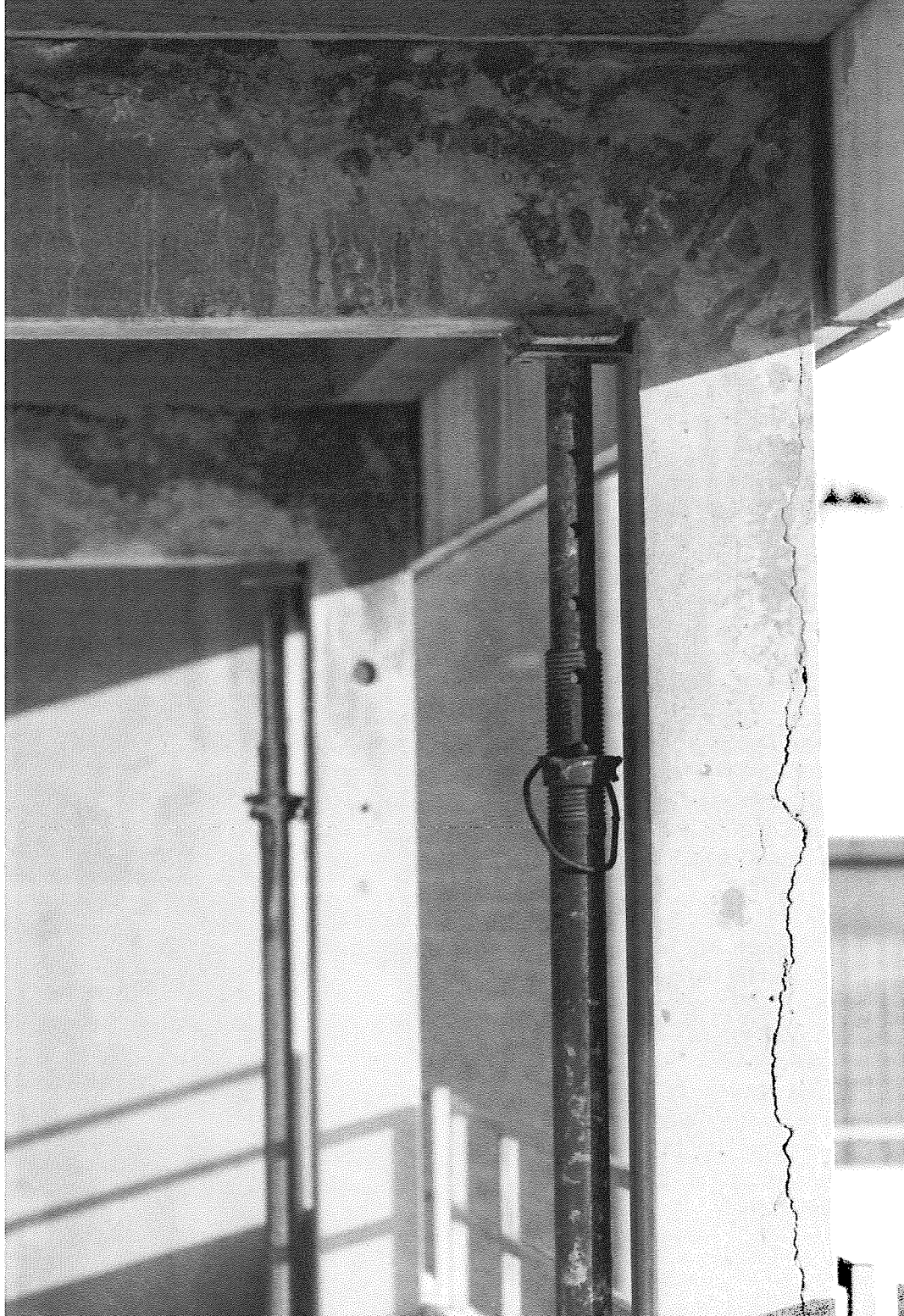
Hans Arup siger desuden følgende i sit indlæg:

*»Det synes i øvrigt naturligt at stille krav til marine konstruktioner om en sådan betonkvalitet, at en mætning med havvand kan tolereres.«*

Interessen for korrosionsangreb på armering i havvandskonstruktioner som følge af chloridindtrængning øges hos betonforskere sidst i 1970'erne. Instituttet for Metallære, DTH, udførte i 1978–79 omfattende målinger af chloridindtrængning i eksisterende betonbygværker i Storebæltområdet (Sørensen, 1982). Denne undersøgelse viser, at beton i dette miljøområde får tilført chlorid fra oversprøjtning med havvand, fra saltindholdet i luften og om vinteren fra smeltevand med opløst tøsalt. Undersøgelsen viste også, at den kritiske chloridkoncentration endnu ikke er nøjere fastlagt. Betonens chloridintensitet ved denne undersøgelse er bestemt ved analyse af porevæskens koncentration af chloridioner. Det viste sig, at analysemetoden var behæftet med så stor usikkerhed, at resultaterne skal tages med et vist forbehold.

*Foto på modstående side. Tøsalt har skabt mange holdbarhedsproblemer for altangange, især for konstruktioner, hvor betonen har været fremstillet til at opfylde kravene i 1949-normen, der først blev revideret i 1973. Tøsaltning som påvirkning kendes ikke i 1949-normen. Se også side 130.*





## Skademekanisme

Chlorid i hærdnet betons fugtige omgivelser (havvand, smeltevand fra tøsaltning, svømmebadsvand, industrispildevand) vil medføre, at chloridioner trænger ind i betons revner og grovporøsiteter. Er betonen ikke vandtæt, vil chloridioner kunne føres med væsketransporten (permeabilitet) ind i betonen. Selv om betonen er vandtæt, vil omgivelsernes fugt (med chloridioner) kunne suges ind i betonen ved hårrørsvirkningen (kapillaritet). Desuden vil chloridioner fra fugtige, chloridholdige omgivelser trænge ind i betonen ved diffusion.

Ved chloriddiffusion vil der efterhånden opbygges et chloridindhold i kitmassen. Denne chloridkoncentration vil være stor i betonoverfladen og aftage indefter (chloridprofil). Med tiden vil chloridmængden øges inde i betonen (chloridprofillets ordinater vokser). Når chloridindholdet i kitmassen omkring armeringen har opnået en vis kritisk værdi, vil armeringen ikke være rustbeskyttet, selv om betonen ikke er carboniseret. Den kritiske værdi er afhængig af cementtype, porevæskens pH-værdi, betonens cementindhold og af betonens fugttilstand.

Armeringens rustdannelse vil afsprænge dæklaget og eksponere armeringen direkte til de chloridholdige omgivelser. Chloridangreb på armering medfører grubetæring. Armeringens tværsnit kan derved hurtigt mindskes ved fortsat tæring med nedsat sikkerhed og eventuelt brud til følge.

## Sulfatbestandig cement

Det blev ret tidligt demonstreret gennem forsøg, at den hærdnede betons modstandsdygtighed over for havvand først og fremmest var betinget af tætheden. Er beton tæt, så havvand kun kommer i berøring med overfladen, er det kemiske angreb ringe. Erfaringer viste også, at man ved lang vandlagring og overfladebehandling (fx kultjære eller asfalt) kunne opnå tæt beton, når cementindholdet lå mellem 380 og 600 kg/m<sup>3</sup> beton, (Suenson, 1911b) og (DIF, 1926).

Der blev dog udviklet specialcementer til havvandskonstruktioner:

- Moler cement, der var portlandcement sammenmalet med enten brændt moler (rødbrun farve) eller ubrændt moler (grå farve) efter A. Poulsens patent, (Skjoldborg, 1950).
- Sulfatbestandig lavalkali cement, der var en portlandcement med et lavt indhold af klinkermineralet  $C_3A$ , under 1 pct., (Plum, 1961).
- Havvandcement, der var sulfatbestandig lavalkali cement malet ca. 10 pct. brændt moler, (Skjoldborg, 1950).
- Lavalkali sulfatbestandig cement, der er en portlandcement med et lavt indhold af klinkermineralet  $C_3A$ , under 2 pct., (Beton-Teknik, 1/01/1978-83).

□ Hvid portlandcement, der er en portlandcement med et lavt indhold af klinkermineralet  $C_3A$ , under 5 pct. Denne cementtype er dog ikke udviklet til havvandskonstruktioner, men med speciel arkitektonisk effekt for øje, (Beton-Teknik, 1/01/1978-83).

Et lavt indhold af  $C_3A$  og/eller et højt indhold af puzzolan (fx moler) gør beton sulfatbestandig, når den er støbt med en af disse cementer. Derfor blev disse cementer anvendt til havvandskonstruktioner som bedst til formålet.

Forskning i udlandet har imidlertid ført frem til den erkendelse, at en portlandcement med lavt indhold af  $C_3A$  og uden tilsætning af puzzolan medfører, at chloridioner lettere trænger ind i beton fremstillet med disse cementtyper end i beton fremstillet med andre cementtyper, alt andet lige.

*Chlorid fra en betonkonstruktions omgivelser kan trænge ind i betonen ved diffusion, kapillarsugning og permeabilitet. Vekselvis vædning og udtørring i forbindelse med chloridholdigt vand (fx svømmebadsvand på springtårne) kan medføre kraftig indtrængning og blot efter få år medføre rustdannelser på armeringen selv for betoner med lave v/c-forhold.*



I Danmark omtales dette i 1983 (Hjorth, 1983). Det er et af emnerne på CtOs Informationsdag i 1984 (Hjorth, 1984). Her konkluderer Lars Hjorth på basis af forsøg udført på Korrosionscentralen:

*»Ud fra hældningen på disse kurver og de målte diffusionskoefficienter kan man finde, at ændringen i diffusionskoefficienten ved at anvende lavalkali sulfatbestandig cement i stedet for rapidcement svarer til en ændring i v/c-tal på ca. 0,05, altså en forskel, som man under praktiske forhold næppe vil kunne erkende.«*

Man kan dog også udtrykke forskellen på en anden måde: Ved et v/c-forhold på 0,4 (ikke ualmindelig for havvandskonstruktioner) er diffusionskoefficienten for cementpasta fremstillet af lavalkali sulfatbestandig cement over dobbelt så stor som for cementpasta fremstillet af rapidcement. Derved kan man måske bedre forstå følgende udtalelse (Bijen, 1985):

*»Although sulphate resistant portland cement is behaving relatively badly regarding chloride ion penetration, it is unfortunately often used in coastal areas and offshore in the Middle East.«*

Det er klart, at forholdene (temperatur, fugtighed) i Mellemøsten giver bedre vilkår for chloridindtrængning end i Danmark. Alligevel synes det umotiveret, at denne viden, hvor ny den end er, ikke er medtaget i 1984-normen og i Basisbetonbeskrivelsen, fx ved en yderligere stramning i v/c-forholdet, når der anvendes lavalkali sulfatbestandig cement uden tilsætning af enten flyveaske eller mikrosilica.

Anvendelse af lavalkali sulfatbestandig cement kan være motiveret, hvis man vil undgå nedbrydning som følge af sulfatpåvirkning. Anvendelsen kan også være motiveret, hvis man vil undgå alkalikiselreaktioner, når man anvender flintholdigt grus. Med den nyeste viden bør der tilsættes betonen en aktiv puzzolan (hydraulisk tilslag), hvis betonen også er chloridbelastet.

## Frostpåvirkning

Før anden verdenskrig var frostskafer på beton i vådt miljø ikke ualmindeligt. Vandmættet beton kan frostskafer på følgende to forskellige måder:

- Der kan dannes frostspringere over porøse sten i betonen. Dette emne er behandlet i afsnittet om frostfarlige sten.
- Betonens cementpasta kan smuldre som følge af vands udvidelse ved isdannelse.

Man havde den opfattelse, at tætheden var en afgørende parameter. I Suensons Byggematerialer (Suenon, 1911b) kan man således læse:

*»Hærdnet beton, der er tæt og stærk, vil ikke beskadiges af frosten, såfremt materialerne er frostfaste, . . .«*

Dette princip blev doceret i al litteratur om frostbestandig beton indtil begyndelsen af 1950'erne. Efsen skriver således i sin bog Elementær Jernbeton (Efsen, 1948):

*»Det bedste middel til at få frostfaste konstruktioner er dog at gøre betonen tæt, således at dens indhold af fugtighed er så lille som muligt. Lokale porositeter i overfladen (stensamlinger, dårlige støbeskel etc.) er således gode angrebepunkter for frosten og må undgås ved omhyggelig udførelse af arbejdet.*

*Frostskader forekommer selvfølgelig særlig i klimaer med hyppig vekslen mellem frost og tø, især når der også findes stor fugtighed. Således vil vandgangslinien i vandbygningskonstruktioner være særlig udsat.«*

For denne beton ved vandgangslinien foreskrev 1949-normen, at v/c-forholdet skulle være under 0,75 når der blev anvendt hurtighærdnende portlandcement; ellers under 0,55.

Frostskader blev nøje undersøgt i USA i 1940'erne. I begyndelsen af 1950'erne var problemer løst teoretisk ved P. C. Powers' teori.

I Danmark omtales luftindblanding første gang i 1946, idet Beton-Teknik har en to siders artikel (CtO, 1946c) med titlen »Lidt om Air-Entraining Cement«. Heri fastslås:

*»Under normale forhold er vel udført beton fuldt ud frostbestandig; men i særlige tilfælde, fx ved optøning af sne og is ved hjælp af kalciumklorid, er beton ofte mindre modstandsdygtig.«*

Artiklen slutter:

*»Spørgsmålet betons frostbestandighed har naturligvis langt større betydning for fx Norge og Sverige med deres store, stærkt udsatte betondæmnin-  
ger, og Amerika med deres udstrakte betonveje end det har været her i landet, hvor vi endda knap nok kender til anvendelsen af kalciumklorid til optøning af is på betonveje, men man må alligevel med stor interesse følge udviklingen af »Air-entraining« – stoffer i betonen.«*

Der viste sig en stor interesse for luftindblandet beton i de følgende år, både blandt forskere (Glarbo, 1948) og praktikere (Idorn, 1951). Der blev skrevet oversigtsartikler, (Forum, 1949) og (Heilmann, 1949), og endelig udgav DIF retningslinier for fremstilling af luftindblandet beton (DIF, 1954). Der blev fremstillet særligt kontroludstyr (Meyer, 1948a) og på DTH blev emnet genstand for et eksamensprojekt (Andersen, 1950).

Luftindblanding blev krævet i Betonnormen DS 411 fra 1973 på følgende måde (DIF, 1973b):

*»Hvis betonens overflade kan blive udsat for vekselvis frysning og optøning i vandmættet tilstand, skal der anvendes et luftindblandende tilsætningsstof. Den friskblandede betons luftindhold bestemmes som angivet i DS 423.11.«*

I vejledningen til 1973-normen blev der givet følgende oplysninger:

*»Vedr. grænser for indholdet af fint fordelt luft, som normalt bør tilstræbes for opnåelse af frostbestandig beton, henvises til DIFs anvisning i brug af tilsætningsstoffer (NP-111-R).«*

Man finder samme henvisning til NP-111-R i 1984-normen (DIF, 1984). Slår man op i NP-111-R konstaterer man imidlertid, at grænser for luftindholdet ikke er nævnt i denne publikation. Man finder derimod grænserne i en anden af DIFs publikationer (DIF, 1954). Den havde været udsolgt i en årrække. I lærebøger (Herholdt, 1969) og håndbøger (CtO, 1979) findes anbefalede luftindhold for frisk beton. Disse anbefalinger er ikke identiske.

I forbindelse med Vejdirektoratets broundersøgelse i 1977/79 blev der blandt andet udført frostforsøg med udborede betonkærner (Vejdirektoratet, 1980a). Der blev anvendt tre forskellige frost/tø prøvningsmetoder. Desuden blev luftboblernes fordeling i den hærdnede beton målt.

På basis af denne undersøgelse fremkom en tabel for acceptværdier for hærdnet, frostbestandig betons fordeling af luftbobler. Disse grænser afveg fra det, der var opstillet af T. C. Powers. I Dansk Betonforenings publikation 10:1981 gentages denne tabel med andre værdier. I Basisbetonbeskrivelsen (ATV, 1986) er der givet acceptkriterier, der igen afviger fra ovenstående. Ingen danske betonnormer har stillet krav til frisk og hærdnet betons luftindhold, endsige til fordelingen af luftbobler i hærdnet beton.

I mange betonbeskrivelser ser man krav til den friske betons luftindhold, oftest 4–6 pct. af betonens volumen, når største stenstørrelse er 32 mm. Enkelte betonbeskrivelser, især inden for brobygningen, har stillet krav til fordelingen af luftboblerne i den hærdnede beton.

## **Skader**

Det har i praksis vist sig vanskeligt at opfylde stillede krav til luftboblernes placering i den hærdnede beton, især hvor der har været anvendt et effektivt superplastificerende tilsætningsstof.

Der findes sager, hvor betonbeskrivelsen klart har opstillet kravene til luftboblernes fordeling i den hærdnede beton og hvor det ved måling er konstateret, at kravene ikke er opfyldt. I sådanne tilfælde har entreprenørerne erkendt, at betonen ikke var konditionsmæssig.

I et enkelt tilfælde er det lykkedes at føre ansvaret videre til leverandøren af det luftindblandede tilsætningsstof. I et andet tilfælde vedtog man at lade sagen afgøre ved frostprøvning af udborede kerner efter DS 423.29: »Hærdnet beton, frostprøvning med saltopløsning«. Betonen var frostbestandig efter denne prøvningsmetode trods det, at fordelingen af luftboblerne ikke opfyldte de stillede krav i betonbeskrivelserne. Entreprenøren betalte ikke erstatning.

Prøvningsmetoden DS 423.29 er senere trukket tilbage. Der er ikke i 1988 kommet en ny prøvningsmetode som erstatning.

### **Skademekanisme**

Beton vil i praksis altid være vandsugende. Det betyder, at betons cementpasta i vandpåvirket tilstand kan blive vandmættet. Udsættes beton for frost i vandmættet tilstand, er der risiko for frostskeer, dvs. frostsprængninger, idet vand ved frysning udvider sig ca. 9 pct. og kan sprænge cementpastaen, så den smuldrer.

Ung (hærdnende) beton, hvor afbindingen er startet, men endnu ikke afsluttet, indeholder frit vand, der kan fryse og sprænge betonens mikrostruktur. Ved optøning af en frossen, ung beton vil betonen bevare den struktur, der er opnået ved frysningen. Man får derfor en porøs beton med ringe sammenhæng og lav styrke. En sådan beton angribes let af ydre påvirkninger (se side 103 ff).

I hærdnet beton er der opbygget en struktur, der kan opfattes som en gelsubstans med et netværk af kapillarporer og en fordeling af luftbobler (fra luftindblanding). I vandmættet beton vil det fri vand i store kapillarporer kunne fryse, når betonen udsættes for frysning. Frosten trænger ind i betonen fra betonens overflade. Ved isdannelsen søger væggene i kapillarporerne at hindre ekspansionen (is fylder ca. 9 pct. mere end det vand, der fryser). Da kapillarporerne danner et gennemgående »rørnet« i gelsubstansen, opstår der et hydraulisk tryk i foranliggende, ufrosset vand. Dette tryk kan udlignes, hvis der er mulighed for, at det ufrosne vand kan presses ind i betonen foran frysezone. Hvis betonen er vandmættet og cementpastaen ikke kan optage det opståede træk, vil der dannes mikrorevner, således at trykket udlignes. Hvis der er ikke-vandfyldte hulrum, fx luftbobler, i betonen i en passende mængde og fordeling, kan der ske en udligning af trykket uden revnedannelse. Det kan ske, ved at porevæsken, der presses frem foran frysezone, træder ind i disse tomme luftbobler (der altså virker som en slags ekspansionsbeholdere).

Vandmættet beton, hvis cementpasta ikke er frostbestandig, vil i frost/tøperioder smuldre. Denne nedbrydning forstærkes ved glatførebekæmpelse med tøsalt, såvel med natrium- og calciumchlorid som med urea.

Betons ringe trækstyrke og sprødhed over for trækpåvirkning har medført, at man som en forudsætning for de statiske beregninger ser bort fra betons trækstyrke og accepterer revnedannelser i betonkonstruktioner. Revnevidden afhænger naturligvis af armeringens spændingsniveau, placering og fordeling samt af konstruktionsudformningen. Det er derfor muligt, i hvert fald til en vis grad, at styre revnedannelsen fra mekanisk last og sætninger samt svind-, krybnings- og temperaturpåvirkninger ved projektering af armerede betonkonstruktioner. Det er dog ikke muligt helt at undgå revner uden en væsentlig meromkostning.

## Skademekanisme

Revner i beton giver adgang til betonens indre, herunder armeringen, for aggressive stoffer i omgivelserne, fx kuldioxid, svovldioxid, chloridioner. Medens væskefyldte revner giver let adgang for fx chlorid- og sulfationer, forhindrer væskefyldte revner adgang for luftarter som kuldioxid, svovldioxid og ilt. Omvendt vil åbne, tørre revner give fri adgang til luftarterne, medens fx chlorid-, sulfat- og ammoniumioner ikke kan trænge ind i betonen uden at den er våd.

Revner er i sig selv ikke en skade, men de giver mulighed for at forstærke nedbrydningen fx i forbindelse med syreangreb, carbonatisering, chloridangreb og frost/tø-påvirkning. Disse forhold er gældende uafhængig af årsager til betons revnedannelse, det være sig lastfremkaldte revner, svindrevner, termorevner eller revner fra alkalikiselreaktioner.

*Foto på modstående side. Revner i beton giver den ydre påvirkning lettere adgang til betonens indre, herunder armeringen. Den ydre påvirkning kan være kuldioxid, svovldioxid, chlorider og fugt. En revne, der går på langs ad en armeringsstang, udsætter en langt større del af armeringsstangen for den ydre påvirkning end hvis revnen går på tværs af armeringsstangen. Både i søjler, bjælker og plader vil armeringen ofte være arrangeret i to retninger, således at revner ofte vil gå på langs ad det ene sæt armeringsstænger.*





## Lastfremkaldte revner

I den første danske lærebog om jernbeton (Suenson, 1907c) behandler Suenson det forhold, at man ikke kan undgå revnedannelse og skriver:

*»Ved dimensioneringen plejer man ikke at bryde sig om dette forhold. Når den strakte beton ikke regnes med, og jernet formelt ikke belastes med mere end 1000 til 1200 kg/cm<sup>2</sup>, har man erfaringer for, at betonen ikke får synlige revner, og grunden er sikkert den, at betonen optager en så stor part af kraften, at jernspændingen ikke overstiger 210 à 420 kg/cm<sup>2</sup>.«*

Suenson anbefaler en lav armeringsspænding, en høj armeringsprocent og helst spinkle ribbejern samt en omhyggelig efterbehandling (rigelig og langvarig vanding) af betonen for at mindske revnedannelsen (Suenson, 1931b).

Andre lærebøger i jernbeton benytter samme forudsætning. Efsen angiver således (Efsen, 1948) om revnedannelse i jernbetonens trækzone:

*»Revnedannelse i jernbetonens trækzone begynder allerede ved en jernspænding på under 500 kg/cm<sup>2</sup>, så alene af økonomiske grunde er det umuligt at undgå den. Man kan kun så vidt muligt forsøge at få revnerne så små, at de ikke har nogen væsentlig skadelig virkning. Ved revnerne blottes jernet, og dersom forholdene er ugunstige, kan dette give anledning til rustdannelse. Det er derfor af afgørende betydning, under hvilke forhold betonen befinder sig.«*

Senere står der i samme afsnit (Efsen, 1948) følgende:

*»Idet det særlig må være bredden af revnerne, der har betydning i denne sammenhæng, har revneproblemet fået særlig aktualitet efter at man mere og mere går over til at bruge armering med stor flydegrænse. Som allerede tidligere meddelt, mener man, at en revnebredde på 0,1 à 0,2 mm almindeligvis vil kunne tolereres.«*

I de lærebøger, der omhandler beregningsmetoder for armerede betonkonstruktioner, er det ikke alene revnedannelsen fra mekanisk last, der omtales. Også revnedannelser fra SKT-påvirkninger (svind, krybning og temperatur) behandles (CtO, 1979).

Hensyntagen til spændingsdannelse som følge af temperatur- og svindkræfter samt deraf følgende revnedannelse er sket på forskellig måde i betonnormerne.

### Betonnormen 1908

I sit indledningsforedrag ved betonnormens forelæggelse i Dansk Ingeniørforening 1908-05-06 siger professor A. Ostenfeld blandt andet følgende (Ostenfeld, 1908):

*»Dels skulle de almindelige anvendte spændinger ikke give anledning til revner, dels er disse revner, hvis de endelig skulle fremkomme, så fine, at noget*

væsentligt angreb på jernet derigennem ikke er at befrygte. Dette fremgår også direkte af nogle forsøg af Probst, som belastede jernbetonbjælker tæt op til jernets flydegrænse, så den virkelige jernspænding var ca. 2500 kg/cm<sup>2</sup>, altså mere end dobbelt så stor som den spænding man tillader i konstruktioner; efter at der var fremkommet revner, blev bjælken omgivet med en kasse, og 3 døgn igennem blev der tilledet en blanding af CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> og vand-damp. Forsøgene omfattede 32 bjælker, og der fandtes ikke spor af rust ved revnerne, uagtet samme blanding kun behøvede at virke i 24 timer for at frembringe et tæt rustlag på blottet jern. Først når jernspændingen kom op over flydegrænsen, hvorved revnerne naturligvis åbnede sig stærkt, fremkom der en rustning på jernet.«

I overensstemmelse hermed er der ikke i 1908-normen krav om begrænsning af revnevidden i armeret beton. Dette holdt sig op til 1973-normen.

### **Betonnormen 1930**

De tidligste betonnormer kræver ikke hensyntagen til SKT-påvirkninger. I 1930-normen (DIF, 1930) står følgende:

*»Ved statisk ubestemte brokonstruktioner og konstruktioner af lignende betydning, men i almindelighed ikke ved husbygningskonstruktioner, tages der i beregning hensyn til en temperaturvariation.«*

Senere i dette afsnit står der:

*»Indflydelse af betonens svind bringes ved de samme konstruktioner til udtryk i beregningerne ved indførelse af en yderligere temperaturvariation på ± 15° C, og desuden bør man (og det gælder også husbygnings- og særlig tagkonstruktioner) ved arbejdets udførelse og ved konstruktive foranstaltninger (fx ekstra armering eller svindfuger i ikke for stor afstand) modvirke svindets skadelige virkninger.«*

Husbygningskonstruktioner af armeret beton begyndte at blive mere almindelige i begyndelsen af 1930'erne. Det viste sig, at denne udvikling ikke var uden problemer.

Dansk Selskab for Bygningsstatik afholdt et møde 1936-04-17 om problemer ved bygninger med bærende skelet og fagudfyldning af jernbeton. Her siger Kerrn-Jespersen blandt andet, at der var to problemer, der særlig beskæftigede betoningenørerne. Det var sikringen af betonkonstruktionernes levedygtighed og jernbetonens tilpasning i boligbyggeriet. Med hensyn til det første problem konkluderes, at det gælder at sikre imod revner og afskalninger ved forøget armering og tykkere dækkende betonlag, navnlig på steder hvor konstruktionerne er udsatte for angreb af syreholdig luft eller vand.

Selv om det var accepteret, at betonkonstruktioner ikke kunne undgå at få revner og selv om 1930-normen stillede krav for at nedsætte revnevidden, så forekom der dog revnedannelser i praksis i et sådan omfang, at det gav anled-

ning til omtale i den tekniske litteratur. Dansk Ingeniørforening søgte gennem et husbygningsteknisk kursus i 1940 at tage problemerne op (DIF, 1940).

Af flere af indlæggene fremgår det, at problemer med revnedannelser er omfattende. Således har A. J. Moe et indlæg om »Revner i jernbetonhuse, husbygningstekniske fejl«.

I Ingeniøren kan man se flere artikler om revnedannelser, fx (Knudsen, 1943) om »Temperaturrevner i betonkonstruktioner«.

## **Betonnormen 1949**

Da man således ikke i praksis kunne begrænse revneproblemet til et acceptabelt niveau, kunne man forvente, at 1949-normen ville skærpe kravene. Det skete dog ikke. I stedet kom blot følgende advarsel:

*»For udendørs konstruktioner og konstruktioner, der er særlig udsat for fugtighed, eller hvor revnedannelser af andre grunde har særlig betydning, bør der, såfremt  $r_j > 1300 \text{ kg/cm}^2$ , foretages særlige undersøgelser og eventuelt træffes praktiske foranstaltninger for at modvirke skadelige revnedannelser.«*

Med tillægget i 1956 til 1949-normen bliver det tilladt at anvende en tilladelig spænding på  $r_j = 2500 \text{ kg/cm}^2$  for ribbearmering. Derved vokser revneproblemet, men det afstedkommer kun følgende anbefaling:

*»Hvor revnestørrelsen har særlig betydning, må der træffes særlige foranstaltninger.«*

Der kan næppe herske tvivl om, at man indså, at der var et problem, og at man ikke i praksis kunne sikre sig imod revnedannelser i betonkonstruktioner. Det var nok forståeligt, teknisk set. Det kunne accepteres af de projekterende og udførende, men næppe altid af bygherren.

Det er bemærkelsesværdigt, at 1949-normen også omtaler plastisk svind og sætning. Desuden gives anvisning på en reparationsmetode. Det er ikke set før eller siden i danske betonnormer. Under afsnittet om betonarbejde siges det:

*»Det må nøje iagttages, om der opstår revner i overfladen af den nystøbte beton de første par timer efter udstøbningen. Er dette tilfældet, skal revnerne senest 4 timer efter udstøbningen af den pågældende konstruktionsdel lukkes ved en grundig efterbearbejdning af betonen, således at revnerne lukkes i hele deres dybde og ikke blot overfladisk. Observeres revnerne først senere, bør de ophugges, og der efterfyldes med tynd cementmørtel dagen efter støbningen.«*

I kommentarerne til 1949-normen (Meyer, 1950e) står der følgende om dette punkt:

*»Den omtalte revnedannelse i nystøbt beton forekommer særlig, hvis fx etager med bjælker og plader støbes i for våd beton og ud i et. Suenson anbefaler...*

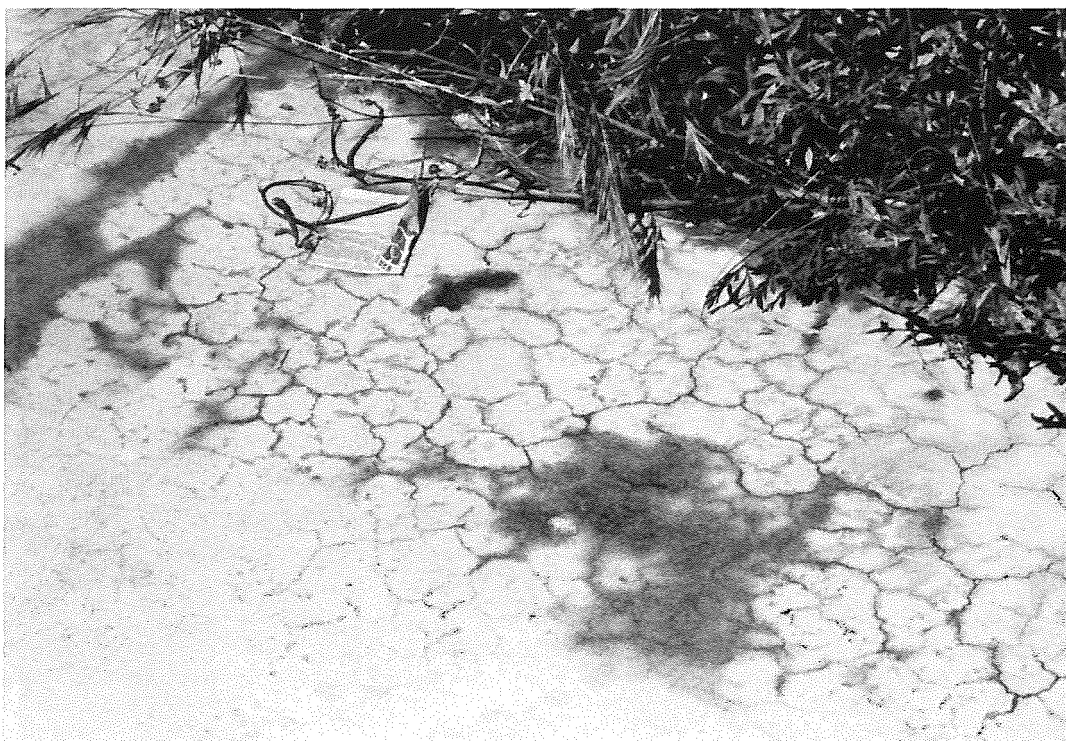
*faler at støbe bjælkerne til pladens underkant og først fortsætte, efter at bjælkebetonen har sat sig, hvorved revnedannelsen i reglen undgås.»*

Der var tidligere foretaget en undersøgelse af revnefænomenet (Meyer, 1940c). Af denne undersøgelse fremgår følgende:

*»De her omtalte fænomener har naturligvis været knyttet til al udstøbt beton gennem årene, og bevægelserne er næppe blevet nævneværdigt større efter at man er gået over til mere finmalet cement. Derimod har anvendelsen af meget flydende beton og indførelsen af visse forenkledte arbejdsmetoder givet anledning til, at betonens svind i de første timer har afstedkommet større revnedannelse end man tidligere har været ude for.»*

Ovenstående viser, at det blev accepteret, at revner blev repareret.

*Utilstrækkelig beskyttelse af betonoverflader kan give anledning til revnedannelse som følge af plastisk svind, især hvor der er anvendt beton med stort pulverindhold. Revnerne åbner betonen og kan give anledning til nedbrydning af betonen som følge af ydre påvirkning.*



## Elementbyggeri

Medens 1949-normen var gældende, blev grundlaget for elementbyggeriet skabt. Som omtalt tidligere tog 1949-normen ikke sigte på elementbyggeriet. »Undvigeparagraffen« (tidligere omtalt på side 24) medførte dog, at nye metoder og principper kunne tages i brug.

I elementbyggeri med klar statisk opbygning og begrænsede elementstørrelser ville der være mulighed for at styre revnedannelsen. Således skriver B. J. Rambøll i »Rationelt Byggeri« (Rambøll, 1955):

*»Fugetværsnit bør i almindelighed være svagere end tværsnit i elementerne, netop for at lede revnerne til at opstå i fugerne. Der er tilfælde, hvor elementer revnede, fordi fugerne har været udført af materiale med for stor styrke.*

*Revner er naturligvis ikke af det gode, selv om de ligger i bunden af en fuge. Hvis fugematerialet er plastisk, kan elementerne arbejde, uden at der opstår revner. Denne fremgangsmåde er af og til benyttet, og den vil utvivlsomt spille en betydelig rolle i fremtidens fugeteknik.«*

Ved samtidig at indføre i leveringsbetingelser, at betonelementer lagres så lang tid på fabrikken, at hovedparten af udtørringssvindet kunne forventes foregået, fik man stort set styr på revnedannelsen om end den ikke kunne undgås.

## Betonnormen 1973

Ved revisionen i 1973 af betonnormen fra 1949 gik man over til et nyt dimensioneringsprincip, nemlig beregning på brudstadiet. Det kom til udtryk i 1973-normen på følgende måde:

*»Normens bestemmelser skal sikre, at betonkonstruktioner får fornøden sikkerhed mod brud.*

*En betonkonstruktion må normalt tilfredsstille en del andre krav, såsom at have tilstrækkelig stivhed og tilstrækkelig holdbarhed i henhold til bygværkets funktion. Normen indeholder kun bestemmelser vedrørende sådanne forhold, for så vidt som sikkerheden mod brud er afhængig af dem.«*

Med betonnormen fra 1973 blev det fremhævet, at også revnedannelse kan have væsentlig betydning for konstruktioner. I vejledningen til 1973-normen står der således:

*»Revner vil opstå i slapt armeret beton, hvor der i armeringen forekommer en trækspænding over 50 til 100 MN/m<sup>2</sup>, eller hvor betonens svind er hindret af andre konstruktionsdele eller af kraftig armering, således at betonens brudforlængelse overskrides.«*

Om revners betydning for holdbarheden skriver vejledningen følgende:

*»Generelt er faren for korrosion af armeringen efter revnedannelse som følge af revner nok så meget afhængig af betonens kvalitet som af revnevidden.*

*Korrosion som følge af revner parallelle med hovedarmeringen bør forebygges ved indlægning af passende tværarmering.*

*Revnevidden bør, afhængig af det omgivende miljø, evt. begrænses af hensyn til faren for korrosion af armeringen.»*

Om denne revneviddebegrænsning anbefaler vejledningen følgende:

*»Når det drejer sig om konstruktioner, for hvilke revnevidden kan have betydning for holdbarheden, tilrådes det at verificere, at de maksimale revnevidder ikke er større end de i tabel V6.1.7 b angivne værdier. Tabellen gælder for slapt armeret beton. For spændbeton bør revnevidderne være 0,1 til 0,2 mm mindre.»*

Miljøklasse	Max. revnevidde
A	0,2 mm
B	0,3 mm

I 1973-normens vejledning angives formler til vurdering af revnevidder fra mekanisk last. I Beton-Bogen (CtO, 1979) angives formler til vurdering af revnevidder fra udtørringssvind.

Ovenstående anbefalinger for maksimale revnevidder har givet anledning til, at man kan få den opfattelse, at en forøgelse af armeringens dæklag ud over normkravet er uheldigt. Vejledningens revneformel giver ganske vist en større revnevidde på betonens overflade, men revnevidden, hvor revnen skærer armeringen, ændres ikke. Derfor skal en beregning af revnevidden altid forudsætte, at dæklaget er lig med den krævede mindsteværdi. Armering rufter ikke specielt, fordi dæklaget gøres tykkere end angivet i betonnormen.

Det betyder også, at når revnevidder vurderes »i marken« ved måling på betonoverfladen, så må der korrigeres for dæklagstykkelse. Revnevidden kan dog bedre vurderes på planslib eller tyndslib af udborede kerneprøver. Det står helt klart, at DIF med 1973-normen og dens vejledning ønskede at give de projekterende mulighed for at vurdere størrelsen af revnevidder i en betonkonstruktion som følger af mekanisk last og SKT-påvirkning.

Det fremgår også tydeligt, at det anses for umuligt at undgå revner, men at det anses for muligt at begrænse revnevidden for de omtalte revnetyper.

## Termorevner

Der var imidlertid en revnetype, som ikke var omtalt i 1973-normen. Det var revnedannelser som følge af cementens hydratiseringsvarme, de såkaldte termorevner. Fænomenet er omtalt i Suensons lærebog om jernbeton (Suenson, 1931b) som kommentarer til 1930-normens regler for at imødegå temperatur- og svindkræfter:

*»Normerne gælder for almindelig portlandcement. Bruges cementer, der varmer stærkt efter størkningen, kan varmeudvidelsen tænkes at medføre blivende sammentrykninger, og den påfølgende afkøling genskaber da ikke begyndelsestilstanden, men efterlader trækspændinger.«*

Termorevner, deres dannelse og styring, omtales tidligt ud fra praktiske erfaringer (Knudsen, 1943) og der gives på basis heraf visse retningslinier.

På Betonforskningslaboratoriet i Karlstrup udviklede Per Freiesleben Hansen beregningsmetoder, således at risikoen for dannelse af termorevner kunne vurderes (Freiesleben Hansen, 1975). I stigende grad ser man i betonbeskrivelser, specielt for broer, at der forekommer krav, som tilstræber at sikre imod termorevner, dvs. revner fra betonens hærdevarme. For Sallingsundbroen blev metoderne anvendt af entreprenøren uden at der var formuleret egentlig krav i betonbeskrivelsen. Vejlefjordsbroen og Allsundbroen er ligeledes eksempler på store betonkonstruktioner, hvor det blev forsøgt at undgå termorevner ved styring af temperaturfordeling og -forløb i konstruktionsdelene som følge af betonens hærdevarme. Det viste sig ikke altid muligt (Sørensen, 1977). Med Farøbroernes betonbeskrivelse (Vejdirektoratet, 1979) nåede man tæt på den formulering af det kravkompleks man kan se i dag til sikring mod dannelse af termorevner. Kravet var:

*»Under betonens hærkning og i efterbehandlingsperioden skal entreprenøren sikre at:*

- Betonens temperatur på intet sted og på intet tidspunkt overstiger 50°C.*
- De resulterende trækspændinger hidhørende fra belastning, indspændingskræfter og temperaturpåvirkning overalt i konstruktionen er mindre end betonens øjeblikkelige trækstyrke.«*

Der er med dette krav tale om, at bygherren ønsker den pågældende brokonstruktion helt revnefri.

Ved vurdering af temperaturpåvirkningen af den hærtnende beton blev det overordnede krav erstattet med et krav om overholdelse af visse temperaturdifferencer. Et sådan vikarierende krav vil naturligvis forudsætte, at de statiske beregninger også er udført under forudsætning af urevne tværsnit.

Dette er et eksempel på, at en bygherre ikke accepterer kravene i 1973-normen som tilstrækkeligt strenge og derfor foretager en skærpelse i betonbeskrivelsen.



Hvor en bygherre ikke stiller specielle krav, er det kravene i DS 411 og anbefalingerne i vejledningen der vil være gældende.

Det betyder, at bygherren må acceptere de revnevidder, som betonnormen betragter som de maksimale, hvis korrosion skal undgås.

### **Betonnormen 1984**

Forud for revisionen i 1984 blev de anbefalede værdier for maksimal revnevidde indgående diskuteret, såvel i arbejdsgruppen som i det repræsentative udvalg. Resultatet blev tilsyneladende en vis lempelse, idet ordlyden i vejledningen nu fik følgende formulering:

*»Der er ingen klar sammenhæng mellem revnevidder og faren for korrosion af armeringen, og almindeligvis er korrosionsfaren som følge af revnedannelse nok så meget afhængig af betonens tæthed som revnevidden. Når det drejer sig om konstruktioner, for hvilke revnevidden kan have betydning for holdbarheden, tilrådes det dog at verificere, at de beregnede maksimale revnevidder ikke overskrider 0,2 til 0,3 mm i aggressiv og 0,3 til 0,4 mm i moderat miljøklasse. Værdierne gælder for slapt armeret beton. For spændbeton bør de maksimale revnevidder være 0,1 til 0,2 mm mindre.«*

Som for 1973-normen gælder disse revnevidder under forudsætning af, at normens foreskrevne dæklag forefindes. Hvis ikke, skal der korrigeres herfor.

Den tilsyneladende lempelse i forhold til 1973-normen opvejes i nogen grad af skærpelsen i dæklagskravet i 1984-normen. Ovenstående anbefaling skal, sammen med andre krav i 1984-normen, sikre imod armeringskorrosion. Vejledningen peger på, at der også er andre grunde:

*»Revneviddebegrænsning kan være nødvendig af æstetiske, psykologiske og funktionelle årsager.«*

Det burde være klart, at i sådanne tilfælde skal bygherren angive den ønskede maksimale revnevidde; ellers vil de projekterende og/eller de udførende kun anvende revneviddebegrænsning af hensyn til korrosionsfaren som anbefalet i vejledningen.

I det forslag til betonnormen, som blev udsendt til offentlig kritik i 1983, var der lagt op til, at betonkonstruktioner skulle være fri for termorevner. Det blev imidlertid i 1984-normen til, at man blot stillede følgende krav:

*»Den nyudstøbte beton skal beskyttes mod skadelige påvirkninger.«*

Det betyder, at revnedannelse som følge af mekanisk last (fx bøjnings- og forskydningsrevner), SKT-påvirkninger (fx svind- og temperaturrevner) stilles lige. Der skal sikres imod skader, dvs. armeringskorrosion, ved begrænsning af revnevidden, afhængigt af miljøet. Ønsker bygherren begrænsninger derudover, må det præciseres i betonbeskrivelsen.

I vejledningen til ovenstående krav omtales det, at risikoen for revnedannelse i den unge beton er afhængig dels af temperaturforskellen i konstrukti-

nen, dels af de enkelte konstruktioners understøtningsbetingelser. Der gives dernæst forslag til begrænsninger af temperaturdifferencer for nogle specifikke og ofte forekommende konstruktionsdele. Disse begrænsninger sikrer ikke imod termorevners opståen, men vil ved passende armeringsfordeling næppe give uacceptable revnevidder.

Man ser undertiden i betonbeskrivelser, at vejledningens begrænsning for temperaturdifferencer bliver anvendt på andre typer konstruktionsdele og sammensætninger af konstruktionsdele. Det kan medføre og har faktisk medført revnevidder, der er større end betonnormen anbefaler som maksimalt, hvis risikoen for armeringskorrosion skal være negligerbar.

## Skader

I mange skadesager indgår konstruktionsrevner som en del af skadebilledet. Der findes imidlertid kun få kendelser, idet mange af disse skadesager ender som forlig. Et par sagsforløb har interesse og skal derfor omtales her, idet de illustrerer, hvorledes revner vurderes som skader.

### Parkeringsdæk

Man møder i rapporter over syn og skøn begrebet »produktionsrevner.« Der ved forstås revnedannelser, som skyldes påvirkninger under elementernes produktion, transport og montage.

For et elementopbygget parkeringsdæk, opført i perioden 1969-74, blev der konstateret omfattende nedbrydning af beton og armering omkring 1980. I skønrapporten kan man læse følgende om produktionsrevner:

*»Skaderne har sandsynligvis udviklet sig som følger: Ved elementernes håndtering under afformning, transport og/eller montage, hvor styrke og stivhed endnu ikke er tilstrækkelig udviklet, kan der i betonen være opstået sådanne spændinger, at fine revner er opstået langs med hovedarmeringen. Senere er ilt og fugt fra luften, samt chloridblandet vand, der har passeret fugerne, trængt ind gennem revnerne (kapillarvirkning) og har medført korrosion af hovedarmeringen. Korrosionsprodukterne (rust) har medført volumekspansion omkring armeringsstængerne og derved forøget revnevidden og i tidens løb medført rustfældninger og afsprængninger.«*

Bortset fra, at rigtigheden af ovenstående postulat kan diskuteres, så er det interessant, at der som baggrund for kendelsen (Voldgift, 1983) udtales følgende:

*»Det må endvidere lægges til grund, at den anvendte beton uanset de konstaterede produktionsrevner efter herskende praksis og viden på byggeriets tidspunkt har været i kontraktmæssig stand.«*

Den indklagede elementfabrik blev frifundet for de stillede krav og blev tilkendt erstatning til sagsomkostninger.

### **Støttemur**

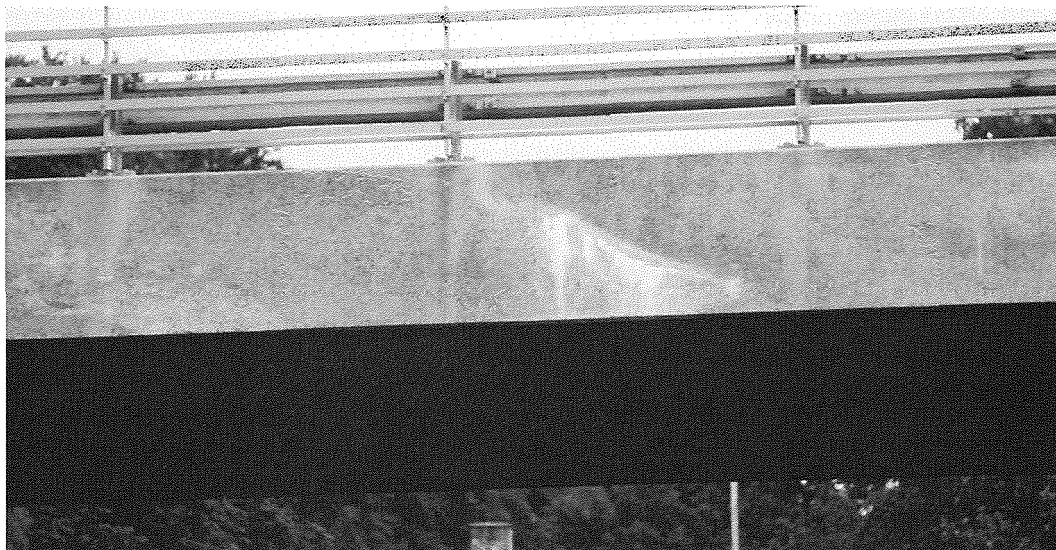
Ved transport af betonelementer til opbygning af en støttemur opstod der transportrevner (bøjningsrevner) i elementerne. Elementerne blev ikke af tilsynet inspiceret og afvist ved levering til byggeplads. Da betonelementerne var blevet monteret, blev de derimod afvist af tilsynet med den begrundelse, at de havde revner.

Elementerne var projekteret og udført efter 1984-normen og var af projekterende placeret i moderat miljøklasse. En opmåling med revneviddemåler viste, at maksimal revnevidde lå mellem 0,20 mm og 0,25 mm.

I arbejdsbeskrivelsen var der ikke skærpede revnekrav i forhold til 1984-normens anbefaling i vejledningen. Derfor afviste elementfabrikken bygherrens krav om at betale for injektion og overfladebehandling af støttemuren.

Det var bemærkelsesværdigt, at den konsulent, som for bygherren undersøgte og vurderede revnedannelsen udtalte, at de konstaterede revner ville udgøre en fare for armeringskorrosion. Dette var i strid med 1984-normen. Elementfabrikken kom ikke til at betale for injektion og overfladebehandling af støttemuren.

*Det har været almindeligt i betonbeskrivelser at stille krav om, at betonen skulle være stivest muligt. Er vibreringsudstyret ikke tilpasset betonens bearbejdelighed, er det ikke altid muligt at indarbejde to på hinanden følgende udstøbte betonlag. Det kan betyde, at der dannes et »koldt støbeskel«, dvs. en flade i betonen med grovporøsiteter og revner. Derved kan vand udlude betonen, og den manglende sammenstøbning kan således være udgangszone for accelereret nedbrydning.*



En betonkonstruktions lokalmiljø kan ændre sig, naturligt eller provokeret, i bygværkets stiplede funktionstid. De krav, der stilles til beton, afhænger af miljøet og den gældende betonnorm på projekteringsstidspunktet. Hvis normkrav skærpes ved normrevision og/eller betonkonstruktionens miljø forværres, fx ved ændret brug, vil bygværket ikke længere opfylde normmæssige krav til holdbarhed.

## Tøsaltning

Op til vinteren 1956/57 blev der til glatførebekæmpelse anvendt rent grus. På foranledning af KDAK rådspurgte man tyske vejingeniører om glatførebekæmpelse. Derefter gik man over til en »superblanding«, bestående af 500 kg tøsalt til 4 m<sup>3</sup> grus (et vognlæs). Allerede tidligt i 1960'erne gik man imidlertid over til brug af rent salt, der var mere skånsomt mod bilerne. Op gennem 1970'erne steg forbruget af tøsalt voldsomt. Der blev registreret årsforbrug på 400.000 tons. I vinteren 1985/86 var forbruget dalet til 321.000 tons tøsalt og 2.100 tons urea.

Anvendelsen af tøsalt på offentlige områder breder sig hurtigt til bekæmpelse af glatføre i almindelighed, fx adgangsveje til huse, herunder altangangs konstruktioner og udvendige trapper samt parkeringsdæk. Tøsalt kunne og kan stadig købes i ethvert supermarked om vinteren. Parkeringsdæk får i øvrigt et væsentligt tilskud af tøsalt fra den sne, som biler medfører i hjulkasserne.

De billigste og mest effektive tøsalte er natrium- og calciumchlorid.

### Skademekanisme

Glatførebekæmpelse ved hjælp af tøsalt medfører, at sne og is smelter, idet det saltholdige smeltevand får et lavere smeltepunkt. Anvendes natrium- eller calciumchlorid som tøsalt, kan smeltevandets chloridkoncentration blive meget stor (næsten mættet). Det vil medføre chloridindtrængning i betonen, hvis den er ubeskyttet. Det kan på længere sigt medføre rustskader på armeringen (se side 112) og frostskafer på betonens cementpasta (se side 117).

### Betonnormen 1949

I 1949-normen eller i tidligere betonnormer kendes begrebet tøsaltning ikke, men Suenson skriver (Suenson, 1954) dog så tidligt som i 1954:

*»Brug af  $\text{CaCl}_2$  til at smelte sne og is på betonveje menes at skade betonen.«*

Det blev især altangange, udvendige trapper og ubeskyttede betondæk, der fik skader som følge af tøsalthning. De typiske skader var armeringskorrosion som følge af chloridionindtrængning, alkalikiselseaktion som følge af alkali-tilskud (natriumion), og smuldrende cementpasta som følge af frost/tø-påvirkning.

Ifølge 1949-normen, hvor tøsalthning ikke kendes, var disse konstruktionsdele udsat for et miljø, som kan beskrives som:

*»Beton udsat for vejrlig eller helt omgivet af strømmende ikke aggressivt vand.«*

Mange af disse konstruktioner blev støbt med hurtighærdnende portlandcement. Det betød, at v/c-forholdet skulle være under 0,85 og at cementindholdet skulle være over 200 kg/m<sup>3</sup> beton. Erfaringer fra praksis har vist, at dette ikke var tilstrækkeligt, når der blev udstrøet tøsolt. Resultatet af tøsalthning var omfattende betonskader (DBF, 1973).

*Glatførebekæmpelse med tøsolt har mange steder medført omfattende frostska-der på betonkonstruktioner og betonvarer. Tøsalthning begyndte sidst i 1950'erne, hvor den eksisterende betonnorm, 1949-normen, ikke omfattede påvirkning af beton og armering fra tøsalthning. I 1973-normen blev tøsalthning nævnt som miljøpåvirkning. Påvirkning med optøningskemikalier blev dog karakteriseret som større udsving fra det normale, og det blev anbefalet, at normbrugeren tog hensyn hertil ved særlige, forebyggende foranstaltninger. Normbrugeren var dog fortsat henvist til speciallitteraturen, når konkrete krav om betons holdbarhed over for tøsalthning skulle formuleres.*



## Rapport fra Dansk Betonforening 1973

I 1970 tog Dansk Betonforening initiativet til dannelse af en interessentgruppe, der skulle tilvejebringe de økonomiske forudsætninger for en udredning om skadeårsager og skademekanismer ved nedbrydning af beton som følge af anvendelse af optøningsmidler. Arbejdet blev afsluttet med en rapport (DBF, 1973), der blev fremlagt på Dansk Betondag i 1973 i Horsens.

Rapporten koncentrerer sig om frostskeer på betonen og mindre om risikoen for armeringskorrosion. I rapporten konkluderes følgende:

*»Armering må beskyttes mod korrosion ved tilstrækkelig dæklagstykkelse og sikring af dæklaget gennem foranstaltninger til bevarelse af selve betonen.«*

Øget risiko for alkalikiselreaktion omtales også:

*»Anvendelse af natrium- (eller for den sags skyld kalium-) salte til optøningsformål skaber teoretisk mulighed for, at alkalikiselreaktioner opstår eller forværres. Muligvis kan den større skadeintensitet ved NaCl end ved CaCl<sub>2</sub> i visse tilfælde og i nogen grad henføres hertil, . . . «.*

Rapportens væsentligste resultat for praksis er, at kravene til betons sammensætning skal skærpes, hvis der skal være passende lille risiko for saltskeer ved anvendelse af tørsalte. For nøddestenbeton anbefales blandt andet:

- cementindhold: over 350 kg/m<sup>3</sup>
- v/c-forhold: under 0,50
- luftindblanding: 4,5–5,5 vol.pct. af beton.

Der er her tale om en kraftig skærpelse i forhold til kravene i 1949-normen. Her var det strengeste krav, at v/c-forholdet skulle være under 0,55 for »beton ved vandlinien i havvand eller ferskvand udsat for frost eller beton udstøbt under vand.«

## Betonnormen 1973

Man kunne forvente, at de registrerede saltskeer på betonkonstruktioner opført efter 1949-normen ville have resulteret i en særlig miljøklasse ved ekstra skærpede krav. Man definerede imidlertid i normen tre miljøklasser, der er karakteriseret ved forskellige grader af aggressivitet, men som alle er almindeligt forekommende i Danmark. Normens krav var gældende for disse tre miljøklasser, hvor ingen omfattede påvirkning med optøningskemikalier.

I vejledningen til 1973-normen tager man så højde herfor på følgende måde:

*»Større udsving fra det normale (fx grundvand med stort sulfatindhold, påvirkning med optøningskemikalier, etc.) må der tages hensyn til ved særlige, forebyggende foranstaltninger, såsom forøgelse af dæklagstykkelsen, anvendelse af specialcementer, anvendelse af særligt udsøgte grusmaterialer,*

*forøgelse af betonens tæthed (fx ved yderligere begrænsning af v/c-forholdet i forhold til normens krav eller ved anvendelse af membraner).«*

Desuden krævede normen, at der blev anvendt et luftindblandende tilsætningsstof, hvis betonens overflade kunne blive udsat for vekselvis frysning og optøning i vandmættet tilstand. Vejledningen nævner eksempler på, hvor luftindblanding kan blive aktuel. Dernæst udtales:

*»Yderligere skærpelse af disse foranstaltninger tilrådes, såfremt betonens overflade udsættes for optøningskemikalier.«*

Der var altså ikke megen kontant hjælp at hente i 1973-normen og dens vejledning, når der skulle projekteres en betonkonstruktion, der kunne blive udsat for tøsaltning. Anvisninger og håndbøger gav ikke mange oplysninger, fx Beton-Bogen (CtO,1979). I Beton-Teknik (Kjær, 1974) ser man nok en advarsel om, at tøsalt kan øge risikoen for alkalikiselsreaktion. Om natrium- og calciumchlorid siges det, at armering angribes i porøs eller revnet beton.

I 1970'erne registrerer man de mange skader på altaner og altangange mv. som følge af tøsaltning. Det omfattede såvel pladsstøbte altangange (Thorup, 1980) som altangangselementer (Djurhuus, 1981) samt husbygningskonstruktioner (Eriksen, 1981).

### **Betonnormen 1984**

De mange betonskader i 1970'erne medførte dog ikke, at der ved revisionen af betonnormen i 1984 kom helt klare regler for armeret beton, der kunne blive udsat for tøsaltning. Der kom generelle skærper af kravene til v/c-forholdet, men tøsaltbelastede betonkonstruktioner henhørte fortsat til særlige aggressive miljøer, for hvilke 1984-normen ikke foreskriver, hvilke forholdsregler der skal tages for at sikre konstruktionens bestandighed. I vejledningen blev der nævnt en række særlige foranstaltninger som fx valg af v/c-forhold, dæklag og membraner, men den eneste konkrete anbefaling i vejledningen var:

*»Hvis der, fx på grund af anvendelse af optøningsmidler, stilles usædvanligt strenge krav til betonens tæthed, bør blandingsforholdet fastlægges, så det maksimale v/c-forhold holdes under 0,40.«*

### **Basisbetonbeskrivelsen 1986**

Den usikkerhed, der hidtil havde hersket med hensyn til krav til armeret beton, der kunne udsættes for tøsaltning forsvandt med BBB. Her placeres tøsaltpåvirkede konstruktioner i aggressiv miljøklasse. Her er kravet, at v/c-forholdet skal være under 0,45. Der er således tale om en vis lempelse i forhold til 1984-normens anbefaling med hensyn til v/c-forholdet på dette område. Der er dermed skabt klarhed om hvilke krav, der stilles til tøsaltpåvirkede konstruktioner.

## Skader

Når man med vor nuværende viden vurderer kravene i tidligere betonnormer kan det ikke undre, at der er opstået skader på tøsaltede betonkonstruktioner.

Der er ingen retskendelser, som kan belyse ansvarsspørgsmålet. Derimod findes der et stort antal syn- og skønssager, som tager stilling til problemet. De tilfælde, hvor der er opstået skader på betonkonstruktioner projekteret i henhold til 1949-normen, har ikke resulteret i et erstatningsansvar for rådgiver eller entreprenør. Sagerne er endt med, at der var tale om bygherrerisiko i overensstemmelse med, at der er tale om en miljøforværring, som man ikke kunne forudse ved anvendelse af 1949-normen.

Enkelte sager om tøsaltpåvirkede betonkonstruktioner projekteret i henhold til 1973-normen har ført til samme resultat. Andre har medført rådgiveransvar. Dog er antallet af sager endnu så få, at man må afvente om tendensen holder sig.

## Vedligehold

Et betonbygværk kræver i et vist omfang rengøring og vedligehold. En stor bygherre som Vejdirektoratet har sat periodemæssige eftersyn i system (Vejdirektoratet, 1980b). Derved sikres det, at fx tilstoppede afløb kan renses og ikke tilsigtet begroning kan fjernes inden disse forhold medfører betonskader.

Alle betonkonstruktioner kan få øget miljøpåvirkning ved afløb, fuger og samlinger, hvis der ikke foregår en vis, tilpasset rengøring. Det er imidlertid først i de senere år, at der er kommet systematisk eftersyn af boligejendomme, således at vedligehold af betonen kan foretages på lige fod med de andre byggematerialer. Her har ikke mindst ATV-udvalget vedrørende betonbygværkers holdbarhed med udgivelsen af forskellige publikationer som »Også beton skal vedligeholdes« (Jensen, 1982) virket fremmende på forståelsen af dette problem, se også »Eftersyn af beton« (Puckman, 1984).

I publikationen »Betonaltaners konstruktive udformning« (Olesen, 1987) slås det fast, at vedligehold er nødvendigt, da bygherrens muligheder for at gøre ansvar gældende over for projekterende, udførende og leverandører i nogen grad er betinget af, at bygherren har sørget for et rimeligt vedligehold.

Et antal syns- og skønssager, der omhandler betonskader, er frafaldet af bygherren i de tilfælde, hvor det er påvist, at manglende vedligehold fra bygherrens side har været medvirkende til skadernes opståen og forløb.



## Skademekanisme

Manglende vedligehold af betonkonstruktioner (fx forstoppede afløb og utilsigtede plantevækster) kan medføre lokal vandmætning af betonkonstruktionen. Det fremmer risikoen for skader, hvor vandet er medvirkende for skadernes opståen og forløb (fx frost/tø-skader, alkalikiselreaktioner, udludning).

*Fugemasser har normalt en kortere funktionstid (levetid) end beton og kræver ofte mere omfattende vedligehold. Et betonbygværks fuger skal hindre fugt og eventuelle aggressive stoffer i at skabe miljøpåvirkninger, som der ikke er taget hensyn til ved projekteringen.*



Listen i dette kapitel gengiver betonteknologiske kilder fra perioden 1888–1988. Det er med det valgte udsnit af foreliggende materiale tilstræbt at afspejle den viden, som har været inden for rækkevidden af projekterende og udførende teknikere; altså et billede af det forventede videnniveau blandt byggeriets parter i Danmark. Der er fortrinsvis tale om danske kilder med hovedvægt på holdbarhedsproblemer.

Listen er på ingen måde komplet, men vil være nyttig, når man i en skadesag skal vurdere, om der på et givet tidspunkt er foretaget ansvarspådragende handlinger, altså om der er arbejdet i uoverensstemmelse med gældende normer, anerkendte prøvningsmetoder, eksisterende viden og gængs byggepraksis. Forkortelsers betydning fremgår af side 7. Har en forfatter i et år publiceret flere arbejder, er dette angivet ved a, b, osv. efter årstallet. Artikelforfattere er nogle steder anført ved initialer.

- 1888 Poulsen, A. Om cementundersøgelser. Den tekniske Forenings Tidsskrift årg. 12, side 98. København, 1888.
- 1889 Christensen, F. Beretning om undersøgelse af portland-cement foretaget i årene 1878-88. Den tekniske Forenings Tidsskrift årg. 13, side 151. København, 1889.
- 1889 Hansen, P. Beton og særlig betonblokke, anvendte i kajmure og andre beklædningsmure. Den tekniske Forenings Tidsskrift årg. 13, side 159.
- 1889 Keyper, C. Forslag til normer for ensartet levering og undersøgelse af portland-cement. Den tekniske Forenings Tidsskrift årg. 13, side 133. København, 1889.
- 1890 Poulsen, A. Indenlandsk cementindustri. Den tekniske Forenings Tidsskrift årg. 14, side 187. København, 1890.
- 1891 Foss, A. Nyere metoder i cementfabrikationen, særlig Aalborg Portlandcement-fabrik. Den tekniske Forenings Tidsskrift årg. 15, side 173. København, 1891.
- 1891 Jensen, E. Om monierkonstruktioner. Den tekniske Forenings Tidsskrift årg. 15, side 140. København, 1891.
- 1891a Poulsen, A. Cementmørtel. Den tekniske Forenings Tidsskrift årg. 15, side 128. København, 1891.
- 1891b Poulsen, A. Om slaggecement. Den tekniske Forenings Tidsskrift årg. 15, side 56. København, 1891.
- 1892 Hansen, P. Middelgrundfortets grundbygning. Den tekniske Forenings Tidsskrift årg. 16, side 6. København, 1892.
- 1892 Nøkkentved. Om indførelsen af trassmørtel. Den tekniske Forenings Tidsskrift årg. 16, side 30. København, 1892.

- 1893 Foss, A. Om sandcement. Ingeniøren 1893, side 183, 187 og 210. København, 1893.
- 1894 Blichfeldt, F. T. E. Det Store Nordiske Telegrafsekselskabs og Privatbankens bygning på Kongens Nytorv. Den tekniske Forenings Tidsskrift årg. 18, side 209. København, 1894.
- 1894 Johansen, F. Om bøjningsmodstanden ved brudgrænsen. Ingeniøren vol. 3, nr. 52. København, 1894.
- 1894 Møller, H. C. V. Københavns Frihavsanlæg. Den tekniske Forenings Tidsskrift årg. 18, side 97. København, 1894.
- 1895 DIF. Almindelige betingelser for arbejder og leverancer. Den tekniske Forenings Tidsskrift årg. 19, side 143. København, 1895.
- 1895 Grut, T. mfl. Bøjningsmodstanden ved brudgrænsen. Ingeniøren vol. 4. København, 1895.
- 1895 Monberg, N. C. Den ny tørdok på Burmeister & Wain's Skibsværft på Refshaleøen. Den tekniske Forenings Tidsskrift årg. 19, side 171. København, 1895.
- 1895 V. B. Mindre meddelelser om 'Falstagsten af cementmørtel'. Den tekniske Forenings Tidsskrift årg. 19, side 134. København, 1895.
- 1896 Ostenfeld, A. mfl. Bøjning ved brudgrænsen. Ingeniøren vol. 5. København, 1896.
- 1897 Johansen, F. Om bøjning af cementbjælker. Ingeniøren vol. 6, nr. 12. København, 1897.
- 1898 Ostenfeld, A. Tilsyneladende og virkelige trækbrudgrænse. Ingeniøren vol. 7, nr. 12 og 17. København, 1898.
- 1901 Den Tekniske Forenings Tidsskrift. Henebik-systemet. Nedstyrning af et hotel i Basel. Den Tekniske Forenings Tidsskrift vol. 25. København, 1901.
- 1901 Jørgensen, J. M. Våd og tør beton. Ingeniøren vol. 10, nr. 45. København, 1901.
- 1903 Carlsen, O. Offentligt bureau for prøvning af cement og sand. Teknisk Tidsskrift vol. 50, nr. 12. København, 1903.
- 1903 Hansen, N. M. Cement, de hydrauliske bindemidler. Ingeniøren vol. 12, nr. 34. København, 1903.
- 1903 Ingeniøren. Cementrør, Kielbergs maskine til formning af cementrør. Ingeniøren vol. 12, nr. 13. København, 1903.
- 1903 Nielsen, H. C. Portlandcementens rumfangsforhold. Ingeniøren vol. 12, nr. 52. København, 1903.
- 1903 Riisager, E. Portland-cement og jern-portland-cement. Den tekniske Forenings Tidsskrift vol. 27, side 187. København, 1903.
- 1904 Foss, A. Ændrede fremgangsmåder ved cementtilvirkningen. Ingeniøren vol. 13, nr. 47. København, 1904.
- 1905 Ingeniøren. En ny etageadskillelse. Betonstammestøbjælker. Ribbedæk. Ingeniøren vol. 14, nr. 38. København, 1905.

- 1905 Jensen, J. P. Amtmand Hoppes bro over Gudenå ved Langå. Ingeniøren vol. 14, nr. 51. København, 1905.
- 1905 Kruse, H. Prøjsiske bestemmelser for armeret beton i bygningskonstruktioner. Ingeniøren vol. 14, nr. 33. København, 1905.
- 1905 Madsen, L. A. Tidlige danske cementundersøgelser. Ingeniøren vol. 14, nr. 39. København, 1905.
- 1905 Suenson, E. En sammenstyrtet krydshvælvning, Strandvej 91. Ingeniøren vol. 14, nr. 26 og 36. København, 1905.
- 1906 Christensen, K. Hennebique bolværk ved cementfabrikken 'Norden'. Ingeniøren vol. 15, nr. 41. København, 1906.
- 1906 Hannover, H. J. mfl. Betonprøvning på arbejdspladsen. Ingeniøren vol. 15, nr. 26. København, 1906.
- 1906 Højgaard, K. Ny monteringsmetode for buer af armeret beton. Ingeniøren vol. 15, nr. 37. København, 1906.
- 1906 Poulsen, A. Moler til cement i havvand. Ingeniøren vol. 15, nr. 29 og 30. København, 1906.
- 1907 DIF. Forslag til normer for jernbetonkonstruktioner. Ingeniøren vol. 16, nr. 30. København, 1907.
- 1907 Gnutzmann, mfl. Bestemmelser for ensartet levering og undersøgelse af portlandcement. Ingeniøren vol. 16, nr. 41, 47 og 48. København, 1907.
- 1907 Granøe, E. V. Sammenstyrtning af en ufuldendt bygning af armeret beton i Philadelphia. Ingeniøren vol. 16, nr. 41. København, 1907.
- 1907 Huismann, H. Sikkerhedsforanstaltninger mod havets indbryden udført af beton eller efter system de Muralt. Ingeniøren vol. 16, nr. 4. København, 1907.
- 1907 Ingeniøren. En ejendommelig stivhedsprøve med bygninger af armeret beton. Ingeniøren vol. 16, nr. 24. København, 1907.
- 1907a Suenson, E. Cementmursten. Ingeniøren vol. 16, nr. 3. København, 1907.
- 1907b Suenson, E. Indmurede altaners sikkerhed. Teknisk Tidsskrift vol. 31. København, 1907.
- 1907c Suenson, E. Jærnbeton. Bluhmes Boghandel. København, 1907.
- 1907d Suenson, E. Jærnbetons brandsikkerhed, temperaturudvidelse og varmelednings-evne. Teknisk Tidsskrift vol. 31, side 17. København, 1907.
- 1907 Teknisk Tidsskrift. Beton-trykledninger. Teknisk Tidsskrift vol. 31, side 175. København, 1907.
- 1907 Vedel, P. Revision af den Tekniske Forenings bestemmelser for ensartet levering og undersøgelse af Portlandcement. Teknisk Tidsskrift vol. 31. København, 1907.
- 1908a DIF. Cementmursten. Ingeniøren vol. 17, nr. 9. København, 1908.
- 1908b DIF. Normer for jernbeton-konstruktioner. Dansk Ingeniørforening. København, 1908.
- 1908 Faber, O. Skorstene af armeret beton. Ingeniøren vol. 17, nr. 13. København, 1908.

- 1908 Hirschsprung, E. Maskinblandet beton kontra håndblandet beton. Ingeniøren vol. 17, nr. 23. København, 1908.
- 1908a Ingeniøren. Betonblandemaskine efter Smith Mixers system. Ingeniøren vol. 17, nr. 46. København, 1908.
- 1908b Ingeniøren. Broer af færdigstøbte bjælker af armeret beton. Ingeniøren vol. 17, nr. 50. København, 1908.
- 1908 Ostenfeld, A. mfl. Jernbetonnormer Ingeniøren vol. 17, nr. 17, 18, 21, 22, 24, 25, 28 og 31. København, 1908.
- 1908 Petersen, M. Forsøg angående fremstilling af vandtæt beton. Ingeniøren vol. 17, nr. 9. København, 1908.
- 1908 Suenson, E. Sammenlignende forsøg mellem knudejern og rundjern. Ingeniøren vol. 17, nr. 16. København, 1908.
- 1909 Cohen, V. Den tyske Betonforenings XI årsmøde. Ingeniøren vol. 18, nr. 13. København, 1909.
- 1909 Ovesen, J. S. En ny metode til undersøgelse af betonblanding. Ingeniøren vol. 18, nr. 37. København, 1909.
- 1909 Sadolin, K. Bygninger af armeret beton opført af adskilt støbte dele. Ingeniøren vol. 18, nr. 7. København, 1909.
- 1909 Suenson, E. Jernbetonkontrolbjælker. Ingeniøren vol. 18, nr. 45. København, 1909.
- 1909 Teknisk Tidsskrift. Jernet i betonkonstruktioner. Rustdannelse. Teknisk Tidsskrift vol. 33, nr. 19. København, 1909.
- 1909 Zielinszki, C. Die Entwicklung der Erhärtung der Roman- und Portlandzemente im Brei, im Mörtel und im Beton. Kongres i København, 1909.
- 1910 Hannover, H. J. Sand til betonstøbning. Ingeniøren vol. 19, nr. 15. København, 1910.
- 1910 Suenson, E. Bakkegrus som betonmateriale. Ingeniøren vol. 19, nr. 50. København, 1910.
- 1911 Danø, J. K. Rationelle mørtel- og betonblandinger. Ingeniøren vol. 20, nr. 4. København, 1911.
- 1911 Lund, J. C. F. Jernbetons værdi som holdbart materiale ved ingeniørbygværker. Ingeniøren vol. 20, nr. 37-38. København, 1911.
- 1911a Poulsen, A. Cement i ferskvand. Ingeniøren vol. 20, nr. 7. København, 1911.
- 1911b Poulsen, A. Hurtig prøve for cement til havvand. Ingeniøren vol. 20, nr. 22. København, 1911.
- 1911a Suenson, E. Betons svind. Ingeniøren vol. 20, nr. 45. København, 1911.
- 1911b Suenson, E. Byggematerialer. Bluhmes Boghandel. København, 1911.
- 1911c Suenson, E. mfl. Jernbetonkontrolbjælker. Ingeniøren vol. 20, nr. 23 og 34. København, 1911.

- 1912 Danø, J. K. Forvitring af beton. Ingeniøren vol. 21, nr. 44. København, 1912.
- 1912 Høst, T. Støbning af beton i temperaturer under nul. Ingeniøren vol. 21, nr. 70. København, 1912.
- 1912a Nielsen, H. C. Puzzolanindblanding i Portlandcement. Ingeniøren vol. 21, nr. 52. København, 1912.
- 1912b Nielsen, H. C. Vandtæt beton. Teknisk Tidsskrift vol. 36, nr. 23. København, 1912.
- 1912 Poulsen, A. Moleret som Puzzolan i cementmørtel. Ingeniøren vol. 21, nr. 6. København, 1912.
- 1912 Suenson, E. Jernbetonkontrolbjælker. Ingeniøren vol. 21, nr. 62. København, 1912.
- 1913 DIF. Normer for jernbetonkonstruktioner. Revideret udgave 1913. Dansk Ingeniørforening, København, 1913
- 1913 Ingeniøren. Flydende betons sidetryk. Ingeniøren vol. 22, nr. 7. København, 1913.
- 1913 Schierbeck, F. En ny metode til udførelse af jernbetonarbejder. Ingeniøren vol. 22, nr. 94. København, 1913.
- 1913a Suenson, E. Jernbetonovenlys. Ingeniøren vol. 22, nr. 43. København, 1913.
- 1913b Suenson, E. Jernbetonkonstruktioner i Nordamerika. Teknisk Tidsskrift vol. 37, nr. 13, hefte 7. København, 1913.
- 1913c Suenson, E. Kornstørrelsens indflydelse på mørtelsands egenskaber. Ingeniøren vol. 22, nr. 34. København, 1913.
- 1914 Danø, J. K. mfl. Betons holdbarhed i havvand. Ingeniøren vol. 23, nr. 7, 17 og 27. København, 1914.
- 1914 H. C. N. De fysisk-kemiske og kolloid-kemiske egenskaber hos beton og jernbeton. Teknisk Tidsskrift vol. 38, nr. 26. København, 1914.
- 1914 Olsen, W. Jernbeton og Brandassurancepræmie. Teknisk Tidsskrift vol. 38, nr. 51. København, 1914.
- 1914a Poulsen, A. Betons holdbarhed. Ingeniøren vol. 23, nr. 31 og 57. København, 1914.
- 1914b Poulsen, A. Cement, le Chateliers hurtigprøve. Ingeniøren vol. 23, nr. 17. København, 1914.
- 1914c Poulsen, A. mfl. Betons tæthed. Ingeniøren vol. 23, nr. 64, 70, 77, 85 og 88. København, 1914.
- 1914a Suenson, E. Mørteludbytte. Ingeniøren vol. 23, nr. 64. København, 1914.
- 1914b Suenson, E. Strandsand som mørtelmateriale. Ingeniøren vol. 23, nr. 75 og 76. København, 1914.
- 1914 Teknisk Tidsskrift. Jernbetons anvendelse i huse. Teknisk Tidsskrift vol. 38, nr. 43 og 51. København, 1914.

- 1915 Ernst, C. F. S. Anvendelse af jernbeton til jernbanebygning. Ingeniøren vol. 24, nr. 45. København, 1915.
- 1915a Ingeniøren. Brandforsøg med beskyttede søjler af profiljern. Betonombestøvning Ingeniøren vol. 24, nr. 85. København, 1915.
- 1915b Ingeniøren. Den elektriske strøms virkning på beton. Ingeniøren vol. 24, nr. 24. København, 1915.
- 1915 Møllmann, J. Jernbetontag over Hellerup Glasværks støbehal. Teknisk Tidsskrift vol. 39, nr. 51. København, 1915.
- 1915a Suenson, E. Adhæsion mellem jern og beton. Teknisk Tidsskrift vol. 39, hefte 11. København, 1915.
- 1915b Suenson, E. Svindspændinger og revnedannelse i beton. Ingeniøren vol. 24, nr. 61. København, 1915.
- 1915a Teknisk Tidsskrift. Gamle betonblokke fra Panama. Teknisk Tidsskrift vol. 39, nr. 11. København, 1915.
- 1915b Teknisk Tidsskrift. Kontrolapparat for betonblandere. Teknisk Tidsskrift vol. 39, nr. 11. København, 1915.
- 1916 DIF. Forslag til navn og normer for sten, grus og sand. Ingeniøren vol. 25, nr. 87. København, 1916.
- 1916 Hansen, P. Betonrørs holdbarhed. Ingeniøren vol. 25, nr. 2, 13, 28 og 32. København, 1916.
- 1916a Ingeniøren. Normer for cirkulære betonrør med muffe. Ingeniøren vol. 25, nr. 24. København, 1916.
- 1916b Ingeniøren. Ødelæggelse af beton af svovlbrinte. Ingeniøren vol. 25, nr. 51. København, 1918.
- 1916 J. T. L. Sammenstyrtning af et pakhús i Nyhavn. Ingeniøren vol. 25, nr. 40. København, 1916.
- 1916 Lorenz, G. mfl. Jernbeton-kajmurskonstruktioner i Frihavnens udvidelsen 1915-17. Teknisk Tidsskrift vol. 39, nr. 51, hefte 26 og vol. 40, nr. 3, hefte 2. København, 1916.
- 1916 Suenson, E. Styrkeforsøg med betonrør. Ingeniøren vol. 25, nr. 15. København, 1916.
- 1917 Alfsen, H. Betonskibsbygning. Teknisk Tidsskrift vol. 41, nr. 45, hefte 23. København, 1917.
- 1917 Bonde, H. P. Rørsukkers indvirkning på beton. Ingeniøren vol. 47. København, 1917.
- 1917 Bryndum, V. G. F. Vandtårn i Horsens. Teknisk Tidsskrift vol. 41, nr. 5, hefte 3. København, 1917.
- 1917 Kragh-Müller, T. Bygningen af den første danske søgående jernbetonlægter. Ingeniør- og Bygningsvæsen vol. 13, nr. 1. København, 1917.

- 1917 Poulsen, A. Om montering af jernindlægget i jernbetonbroer efter element-princippet. Ingeniøren vol. 26, nr. 58. København, 1917.
- 1917 Suenson, E. Jernbetonkonstruktioners udførelse. Teknisk Tidsskrift vol. 41, nr. 41 og 43. København, 1917.
- 1917 Tøndering, C. J. Jernbetonskibsbygning. Ingeniøren vol. 26, nr. 90. København, 1917.
- 1918 Alfson, H. Bygning af jernbetonskibe. Ingeniøren vol. 27, nr. 9. København, 1918.
- 1918 Barfod, G. F. Lidt om cementbesparelse. Ingeniøren vol. 27, nr. 64. København, 1918.
- 1918 Glysing, H. Søgående jernbetonskibe. Ingeniøren vol. 27, nr. 58. København, 1918.
- 1918 Hansen, P. mfl. Betonrørs holdbarhed. Ingeniøren vol. 27, nr. 48, 83, 90 og 102. København, 1918.
- 1918 Holm, H. K. Forskelligt jernbetonarbejde i og ved Københavns havn. Teknisk Tidsskrift vol. 42, nr. 51, hefte 26. København, 1918.
- 1918 Løvstrand, J. Danmarks første jernbetonskibsbyggeri. Ingeniøren vol. 27, nr. 22. København, 1918.
- 1918 Nielsen, T. Relativ styrke af Portlandcementmørtel. Ingeniøren vol. 27, nr. 73. København, 1918.
- 1918 Poulsen, A. Molerments kemiske modstandsevne. Ingeniøren vol. 27, nr. 39. København, 1918.
- 1918 Suenson, E. Forøgelse af cements størkningstid. Ingeniøren vol. 27, nr. 104. København, 1918.
- 1918 Teknisk Tidsskrift. Nedstyrede jernbetonkonstruktioner. Teknisk Tidsskrift vol. 42, nr. 51. København, 1918.
- 1919a Bonde, H. P. Forøgelse af cements størkningstid. Bygmesteren vol. 12. København, 1919.
- 1919b Bonde, H. P. mfl. Portland-cements hærkning. Ingeniøren vol. 28, nr. 10, 17, 30, 36, 42 og 51. København, 1919.
- 1919 Hafn, N. C. Bygningers brandsikkerhed. Teknisk Tidsskrift vol. 43, nr. 49. København, 1919.
- 1919 Hagemann, E. S. Cementsulsten. Ingeniøren vol. 28, nr. 33. København, 1919.
- 1919a Ostfeld, A. Bestemmelse af form og dimensioner for betonrør med spidsbund, foretaget i tilslutning til de af DIFs udv. foranstaltede rørprøver. Ingeniøren vol. 28, nr. 22. København, 1919.
- 1919b Ostfeld, A. Betonrør. Forslag til normer for betonrør. Ingeniøren vol. 28, nr. 22. København, 1919.
- 1919 Poulsen, A. M. Om udførelsen af jernindlægget i jernbetonkonstruktioner. Ingeniøren vol. 28, nr. 21. København, 1919.



- 1919 Riemann, K. Om beton. Et tilbageblik. Ingeniøren vol. 28, nr. 17. København, 1919.
- 1919 Suenson, E. Forøgelse af cements størkningstid. Bygmesteren vol. 12. København, 1919.
- 1920 Højgaard, K. Jernbetonskibsbygningens udvikling under krigsårene. Ingeniøren vol. 29, nr. 56-57. København, 1920.
- 1920a Ingeniøren. Bestemmelser for udførelsen af betonsten. Ingeniøren vol. 29, nr. 98. København, 1920.
- 1920b Ingeniøren. Cementrør. Ingeniøren vol. 29, nr. 93. København, 1920.
- 1920c Ingeniøren. Jernbanevogne af jernbeton. Ingeniøren vol. 29, nr. 80. København, 1920.
- 1920d Ingeniøren. Jernbetondæk af fabriksstøbte dele. Ingeniøren vol. 39, nr. 104. København, 1920.
- 1920 Poulsen, A. M. Jernbetontekniske forhold, fra en studierejse i Frankrig og Belgien. Teknisk Forenings Tidsskrift vol. 44, nr. 24. København, 1920.
- 1920 Suenson, E. Bakkensand som mørtelmateriale. Ingeniøren vol. 29, nr. 95, 96, 97 og 98. København, 1920.
- 1920 Vedel, P. Kajindfatningen i Aarhus havn og nogle dermed under bygningen indtrufne uheld. Teknisk Tidsskrift vol. 44, nr. 29, hefte 15. København, 1920.
- 1921 Bonde, H. P. Bornholmsk cement. Ingeniøren vol. 30, nr. 62, 95 og 102. København, 1921.
- 1921 Clement, A. Kalk og cement i ældre tid. Ingeniøren vol. 30, nr. 102. København, 1921.
- 1921 DIF. Normer for jernbeton-konstruktioner. Revideret udgave 1921. Dansk Ingeniørforening. København, 1921.
- 1921 Forchhammer, H. Interskandinavisk samarbejde for ensartede jernbetonnormer. Ingeniøren vol. 30, nr. 89. København, 1921.
- 1921a Ingeniøren. Bygninger med anvendelse af færdigstøbte betonrammer. Ingeniøren vol. 30, nr. 10. København, 1921.
- 1921b Ingeniøren. Ildebrand i et pakhús af jernbeton. Ingeniøren vol. 30, nr. 4. København, 1921.
- 1921c Ingeniøren. Rørledninger af jernbeton. Ingeniøren vol. 30, nr. 17. København, 1921.
- 1921 Poulsen, A. Betons tæthed. Ingeniøren vol. 30, nr. 54. København, 1921.
- 1921 Rasmussen, K. Reparationer på jernbetonskibe. Ingeniøren vol. 30, nr. 23. København, 1921.
- 1921 Suenson, E. Beton armeret med ribbejern. Ingeniøren vol. 30, nr. 103. København, 1921.
- 1922 Christiani, R. Alcement - Ciment Fondu. Ingeniøren vol. 31, nr. 78-79. København, 1922.

- 1922 Ingeniøren. Normer for udførelse af cementvarer. Ingeniøren vol. 31, nr. 64 og 65. København, 1922.
- 1922 Ostenfeld, A. Bemærkninger om jærn- og betonbrokonstruktioner i Nordamerika. Teknisk Tidsskrift vol. 46, nr. 2. København, 1922.
- 1922 Poulsen, A. Cementrør. Ingeniøren vol. 31, nr. 22. København, 1922.
- 1922a Suenson, E. Forsøgshastighedens indflydelse på cementterningers trykstyrke. Ingeniøren vol. 31, nr. 8. København, 1922.
- 1922b Suenson, E. Humusholdigt sand som mørtelmateriale. Ingeniøren vol. 31, nr. 36-37 og nr. 92-93. København, 1922.
- 1922 Tytvad, K. Betonrørs anvendelse som drænrør. Amerikanske undersøgelser og erfaringer. Ingeniøren vol. 31, nr. 68 og 69. København, 1922.
- 1923 Cottringer, P. mfl. The Use of Calcium Chloride as Protection Against Freezing of Concrete. Concrete vol. 22 nr. 4. USA 1923.
- 1923 Godskesen, O. Nogle erfaringer om jernbetonskorstenes ringe holdbarhed. Ingeniøren vol. 32, nr. 48. København, 1923.
- 1923 Lorenzen, H. Bredestyrkning ved Flensborg. Ingeniøren vol. 32, nr. 51. København, 1923.
- 1923 Löventhal, J. Cementterningers trykstyrke. Ingeniøren vol. 32, nr. 8. København, 1923.
- 1923 Moe, A. J. Jernbetonskorsten på Østre Gasværk. Ingeniøren vol. 32, nr. 44. København, 1923.
- 1923a Poulsen, A. Alcement - neutral cement. Ingeniøren vol. 32, nr. 7. København, 1923.
- 1923b Poulsen, A. Beton i havvand. Ingeniøren vol. 32, nr. 45, 13 og 14. København, 1923.
- 1923c Poulsen, A. Humus contra cement. Ingeniøren vol. 23, nr. 13-14. København, 1923.
- 1923a Suenson, E. Alcement-Lafarge. Ingeniøren vol. 32, nr. 6. København, 1923.
- 1923b Suenson, E. Betonkonstruktioners temperatur som funktion af lufttemperaturen. Ingeniøren, 1923.
- 1924 Born, O. A. Havnepakhus for stykgods. Ingeniøren vol. 33, nr. 21. København, 1924.
- 1924 Nielsen, N. J. Belastningsforsøg med armerede betonbjælker af I-formet tværsnit. Ingeniøren vol. 33, nr. 17. København, 1924.
- 1924 Poulsen, A. Beton og jernbeton i vandbygning. Ingeniøren vol. 33, nr. 31. København, 1924.
- 1924a Suenson, E. Forsøg med Alcement-Lafarge. Ingeniøren vol. 33, nr. 41. København, 1924.
- 1924b Suenson, E. Trykforsøg med alcement-beton. Ingeniøren vol. 33, nr. 22. København, 1924.

- 1924 Wæver, K. Jernbetonbelægningen i Købbyen. Ingeniøren vol. 43, nr. 17. København, 1924.
- 1925 Bygmesteren. Betons beskyttelse mod syre. Bygmesteren vol. 18. København, 1925.
- 1925 Jacobsen, C. Om cellebetons fremstilling og egenskaber. Ingeniøren vol. 34, nr. 36. København, 1925.
- 1925 Meyer, E. V. Undersøgelser over cellebeton og nogle praktiske erfaringer med anvendelser. Ingeniøren vol. 34, nr. 36. København, 1925.
- 1925 Moe, A. J. Velo cement. Ingeniøren vol. 34, nr. 51. København, 1925.
- 1925 Thalbitzer, V. A. Cementen som bygningsmateriale. Bygmesteren vol. 18. København, 1925.
- 1926 Aagaard, P. Fremstilling af ildfast beton. Bygmesteren vol. 19, side 300. København, 1926.
- 1926 DIF. Foreløbige regler for beregning og udførelse af jernbetonkonstruktioner i vandbygning. Dansk Ingeniørforening. København, 1926.
- 1926 Haugsted, F. V. Kombineret vindelformet kørebane og trappe af jernbeton. Anvendt i hospital i Mukden, Manchuriet. Ingeniøren vol. 35, nr. 39. København, 1926.
- 1926 Löventhal, J. Puzzolaners indvirkning på cementmørtel. Ingeniøren vol. 35, nr. 21. København, 1926.
- 1926 Meyer, E. V. Cellebeton og dens anvendelse i køleteknikken. Dansk Teknisk Tidsskrift vol. 50, side 209. København, 1926.
- 1926a Poulsen, A. Betons fugtning. Ingeniøren vol. 35, nr. 5. København, 1926.
- 1926b Poulsen, A. mfl. Beton i havvand. Ingeniøren vol. 35, nr. 19. København, 1926.
- 1926c Poulsen, A. mfl. Betonnormer. Ingeniøren vol. 35, nr. 37. København, 1926.
- 1926 Schönweller, G. Regler for jernbeton i vandbygning. Ingeniøren vol. 35, nr. 11, 12 og 19. København, 1926.
- 1926a Suenson, E. Betonkontrol. Ingeniøren vol. 35, nr. 13. København, 1926.
- 1926b Suenson, E. Cementmørtlens styrke efter vekslende våd og tør lagring. Ingeniøren vol. 35, nr. 39. København, 1926.
- 1926c Suenson, E. En gitterdrager af Alcementbeton. Dansk Teknisk Tidsskrift vol. 50, side 45. København, 1926.
- 1927 Malling, K. T. Forudbestemmelse af betons styrke. Ingeniøren vol. 36, nr. 10 og 20. København, 1927.
- 1927a Poulsen, A. Beton i Middelhavet. Ingeniøren vol. 36, nr. 20. København, 1927.
- 1927b Poulsen, A. Vandbygningsmørtel til saltvand. Ingeniøren vol. 36, nr. 14. København, 1927.
- 1927a Suenson, E. Cellebeton. Arkitekten vol. 29, nr. 18. København, 1927.

- 1927b Suenson, E. Jernbetonens historie i Danmark. Dansk Teknisk Tidsskrift vol. 51, side 103. København, 1927.
- 1927c Suenson, E. Stød i jernbetonbjælker. Ingeniøren vol. 36, nr. 19. København, 1927.
- 1928 Jacobsen, C. Om cellebeton. Dansk Teknisk Tidsskrift vol. 52, side 105. København, 1928.
- 1928a Krog, A. K. Amerikanske metoder til bestemmelse og kontrol af betons blandingsforhold. Dansk Teknisk Tidsskrift vol. 52, side 324. København, 1928.
- 1928b Krog, A. K. Nye metoder til bestemmelse og kontrol af betons blandingsforhold. Bygmesteren vol. 21. København, 1928.
- 1928a Meyer, E. V. Betons holdbarhed under forskellige forhold. Bygmesteren, side 153, 160, 166 og 170. København, 1928.
- 1928b Meyer, E. V. Betons holdbarhed under forskellige forhold. Ingeniøren vol. 37, nr. 25, 42, 43 og 49. København, 1928.
- 1928a Suenson, E. Alcements trækstyrke efter 5 års hærdning. Ingeniøren vol. 37, nr. 18. København, 1928.
- 1928b Suenson, E. Cementrørs holdbarhed. Ingeniøren vol. 37, nr. 17. København, 1928.
- 1929 Christiani, R. Dansk Ingeniørforenings indsats i udviklingen af jernbetonkonstruktioner. Ingeniøren vol. 38. København, 1929.
- 1929 Engel, W. Moderne byggestål. Ingeniøren vol. 38, nr. 1. København, 1929.
- 1929 Hindhede, K. Moderne betonstøbning og indtryk fra en rejse i USA. Ingeniøren vol. 38, nr. 10. København, 1929.
- 1929 Manniche, N. J. mfl. Nyere metoder ved udførelse af betonarbejder. Ingeniøren vol. 38, nr. 2 og 38. København, 1929.
- 1929 Meyer, E. V. Ceresit kontra Sika. Ingeniøren vol. 38, nr. 47. København, 1929.
- 1929 Nielsen, F. Anvendelse af sprøjtebeton ved istandsættelse og overfladebehandling af jernbanebroer. Ingeniøren vol. 38, nr. 43. København, 1929.
- 1929 Ostenfeld, C. Forudbestemmelse af betons trykstyrke og anvendelse heraf på byggepladser. Bygningsstatistiske Meddelelser vol. 1, nr. 2. København, 1929.
- 1929a Poulsen, A. Fransk og belgisk vandbygningsbeton. Ingeniøren vol. 38, nr. 44. København, 1929.
- 1929b Poulsen, A. Vandbygningsbeton i Holland. Ingeniøren vol. 38, nr. 19, 29 og 42. København, 1929.
- 1929a Suenson, E. Betons og mørtels styrke, tæthed og vand/cement-forhold. Ingeniøren vol. 38, nr. 7. København, 1929.
- 1929b Suenson, E. Mælkesyre, mørtel og klinkergulve. Ingeniøren vol. 38, nr. 42. København, 1929.
- 1930 Andreassen, A. H. M. mfl. Om relationen mellem kornsammensætning og mellemrum i produkter af løse korn med nogle eksperimenter. Ingeniøren vol. 39, nr. 9. København, 1930.

- 1930 DIF. Norm for jernbeton-konstruktioner. Revideret udgave 1930. Dansk Ingeniørforening, København, 1930.
- 1930 Hindhede, K. Færdigblandet beton til gader og veje. Dansk Vejtidskrift vol. 7, nr. 1. København, 1930.
- 1930 Hunderup, K. Betonstøbning om vinteren. Ingeniøren vol. 39, nr. 7. København, 1930.
- 1930a Meyer, E. V. Ceresit kontra Sika. Ingeniøren vol. 39, side 39. København, 1930.
- 1930b Meyer, E. V. Kiselsyre til Portland-cements kalk. Ingeniøren vol. 39, nr. 6. København, 1930.
- 1930a Moe, A. J. Om jernbetonnormerne af 1930. Ingeniøren vol. 39, nr. 24. København, 1930.
- 1930b Moe, A. J. Om jernets flydegrænse. Bygningsstatistiske Meddelelser vol. 2. København, 1930.
- 1930 Nielsen, F. Istandsættelse af sten- og betonbroer m.m. ved de svenske Statsbaner. Ingeniøren vol. 39, nr. 15. København, 1930.
- 1930 Poulsen, A. Tre svenske undersøgelser om vandskader på cement. Ingeniøren vol. 39, nr. 50. København, 1930.
- 1930 Suenson, E. Cementrørs vandtæthed. Ingeniørvidenskabelige Skrifter B, nr. 3. København, 1930.
- 1931 Dansk Selskab for Bygningsstatik og DIFs udvalg for rationel betonblanding. Forsøg med beton og tilslagsstoffer. Ingeniørvidenskabelige Skrifter A, nr. 29. København, 1931.
- 1931 Manniche, N. J. Betonblanding - Betonblandemaskiner. Ingeniøren vol. 40, nr. 12. København, 1931.
- 1931a Poulsen, A. Mørtels tæthed og holdbarhed i vand. Ingeniøren vol. 40, nr. 39. København, 1931.
- 1931b Poulsen, A. Puzzolancementer. Ingeniøren vol. 40, nr. 18. København, 1931.
- 1931c Poulsen, A. Skader på beton. Ingeniøren vol. 40, nr. 5. København, 1931.
- 1931 Røder, C. F. Cementfabrikernes standpunkt i 1931. Ingeniør- og Bygningsvæsen vol. 26, nr. 7. København, 1931.
- 1931a Suenson, E. Betonens plastiske formændringer. Ingeniøren vol. 40, nr. 30. København, 1931.
- 1931b Suenson, E. Jærnbeton. Bluhmes Boghandel. København, 1931.
- 1932 Løwenthal, J. Vandgennemtrængelighed af mørtler af Portlandcement og Molerement. Ingeniøren vol. 45, nr. 5. København, 1932.
- 1932 Ostenfeld, C. Betonstøbning i kulde. Ingeniøren vol. 45, nr. 9. København, 1932.
- 1932 Schlegel, F. Jærnbetonens anvendelse i boligbyggeri. Arkitekten vol. 34, nr. 10. København, 1932.

- 1932a Suenson, E. Magniumklorids indvirkning på jern, kalk og portlandcement. Ingeniøren vol. 28, nr. 41. København, 1932.
- 1932b Suenson, E. mfl. Molerementmørtel. Ingeniøren vol. 46, nr. 17. København, 1932.
- 1933 Buckle, A. S. Tilvejebringelse af vandtæthed ved betonbygværker. Stads- og Havneingeniøren vol. 24, nr. 8. København, 1933.
- 1933 DIF. Bestemmelser for ensartet levering og undersøgelse af Portland-cement. Dansk Ingeniørforening. København, 1933.
- 1933 Dührkop, H. Rystet beton. Ingeniøren vol. 42, nr. 18. København, 1933.
- 1933 Flensborg, A. Lillebæltsbroen. Ingeniøren vol. 42, nr. 11-XI. København, 1933.
- 1933 Ingeniøren. Højgaard & Schultz rørfabrik i Skudehavnen. Ingeniøren vol. 42, nr. 2. København, 1933.
- 1933a Kern-Jespersen, P. Cementmørtelinjektion. Bygningsstatistiske Meddelelser, side 28. København, 1933.
- 1933b Kern-Jespersen, P. Overfladebehandling af beton. Bygningsstatistiske Meddelelser vol. 31. København, 1933.
- 1933a Krog, A. K. Jernbetons anvendelse i husbygningen. Ingeniøren vol. 42, nr. 8-IV. København, 1933.
- 1933b Krog, A. K. Konkurrence om betonhuse. Ingeniøren vol. 42, nr. 29-VII og 8-IV. København, 1933.
- 1933 Mygind, P. Jernbetons anvendelse til bolværker i danske provinshavne. Stads- og Havneingeniøren vol. 24, nr. 2. København, 1933.
- 1933 Nielsen, F. Istandsættelse af betonbroer. Ingeniøren vol. 42, nr. I-IV. København, 1933.
- 1933a Suenson, E. Alcements trækstyrke efter 10 års hærkning. Ingeniøren vol. 42, nr. 26-VIII. København, 1933.
- 1933b Suenson, E. Betons vejrfasthed, rumfangsændringer og egenspændinger. Ingeniøren vol. 42, nr. 6. København, 1933.
- 1933c Suenson, E. Fabriksstøbte betonbjælker. Arkitekten vol. 35, nr. 13. København, 1933.
- 1934 Jørgensen, A. Storstrømsbroen, anlæg på land. Ingeniøren vol. 43, nr. 24-III. København, 1934.
- 1934 Kern-Jespersen, P. Overfladebehandling af beton. Cementinjektion. Forstening af kvartsholdige jordarter. Ingeniøren vol. 43, nr. 24. København, 1934.
- 1934a Meyer, E. V. Undersøgelser over cellebetons svind samt over en række faktoreres indflydelse på cementmørtels svind. Ingeniøren vol. 43, nr. 28. København, 1934.
- 1934b Meyer, E. V. Undersøgelser over cellebetons volumenændringer. Doktorafhandling. København, 1934.
- 1934 Olsen, S. Jernbetonhuse, deres isolering og ventilation. Ingeniør- og Bygningsvæsen vol. 29, side 93 og 108. København, 1934.

- 1935a CtO. Betons tryk på støbeformen. Forsøg udført under Traneberg-broens opførelse. Beton-Teknik vol. 1, nr. 1. København, 1935.
- 1935b CtO. Betonsand. Beton-Teknik vol. 1, nr. 4. CtO, København, 1935.
- 1935c CtO. Støbning i koldt vejr. Beton-Teknik vol. 1, nr. 4. CtO. København, 1935.
- 1935 Englund, A. Oddesundbroen. Ingeniøren vol. 44, nr. 57-I. København, 1935.
- 1935 Flensborg, H. Lillebæltsbroen. Ingeniøren vol. 44, nr. 37-I. København, 1935.
- 1935 Jørgensen, O. P. Danmarks højeste skorsten. Beton-Teknik vol. 1, nr. 2. CtO. København, 1935.
- 1935 K. H. Beton. Nye byggemetoder. Ingeniøren vol. 44, nr. 12. København, 1935.
- 1935 Meyer, E. V. Isolering af ydervægge i betonhuse. Beton-Teknik vol. 1, nr. 4. CtO. København, 1935.
- 1935 Salomonsen, M. Valutavanskeligheder og jernbeton. Ingeniøren vol. 44, nr. 48. København, 1935.
- 1935 Schlegel, F. Jernbeton ændrer husbygningen. Ingeniør- og Bygningsvæsen vol. 30, nr. 22. København, 1935.
- 1935 Suenson, E. Cementrørs syrefasthed. DIFs udvalg for undersøgelse af cementrørs vandtæthed og syrefasthed. Ingeniørvidenskabelige Skrifter B. København, 1935.
- 1936a Bygmesteren. Af jernbetonens saga. Bygmesteren, jubilæumsudgaven vol. 29, side 55. København, 1936.
- 1936b Bygmesteren. Friske bjælker eller jernbeton. Bygmesteren vol. 29. København, 1936.
- 1936c Bygmesteren. Kan cement beskyttes mod forvitring. Bygmesteren vol. 29. København, 1936.
- 1936 Dührkop, H. Rystet beton. Beton-Teknik vol. 2, nr. 1. CtO. København, 1936.
- 1936 Helwigh, P. B. Fremstilling af betonveje med hammerstampemaskine. Beton-Teknik vol. 2, nr. 4. CtO. København, 1936.
- 1936 Hygom, H. Vandtårn i Gentofte kommune. Beton-Teknik vol. 2, nr. 2. CtO. København, 1936.
- 1936 Kehlet-Olsen, A. Vibreret beton i vejbygningen. Ingeniøren vol. 45, nr. 21. København, 1936.
- 1936 Krog, A. K. Røselers-dæk. Ingeniøren vol. 45, nr. 61. København, 1936.
- 1936 Larsen, R. A. Vibrering af betonveje og cyklestier. Beton-Teknik vol. 2, nr. 4. CtO. København, 1936.
- 1936 Løvstrand, J. Vibrobeton. Dansk Vejtidskrift vol. 13, nr. 1. København, 1936.
- 1936 Munch-Petersen, J. Vandløbsregulering og kanalbygning. DtH. København, 1936.
- 1936 Olsen, S. Røselers-dæk. Ingeniør- og Bygningsvæsen vol. 31, nr. 16. København, 1936.

- 1936 Poulsen, A. Mørtel og beton med hydrocement. *Ingeniøren* vol. 45, nr. 26-VI og 29-VI. København, 1936.
- 1936 Rasmussen, K. Fabrikation af specielle jernbetonrør. *Den Tekniske Forenings Tidsskrift* vol. 60, side 49. København, 1936.
- 1936 Røhde, Aa. Røsele-dæk. *Bygmesteren* vol. 29, side 121. København, 1936.
- 1936 Salomonsen, M. Jernbeton, normer og udvikling. *Ingeniøren* vol. 45, nr. 28-I. København, 1936.
- 1936 Schlegel, F. mfl. Problemer ved bygninger med bærende skelet og fagudfyldninger af jernbeton. *Bygningsstatistiske Meddelelser* vol. 8. København, 1936.
- 1936 Sodemann, F. Referat af diskussionsmøde angående bygninger af jernbeton. *Ingeniøren* vol. 45, nr. 61-I. København, 1936.
- 1936 Steensen, N. mfl. Røsele-dæk. *Arkitekten* vol. 38, nr. 44. København, 1936.
- 1936 Sthyr, V. Beton til cementbetonveje. *Beton-Teknik* vol. 2, nr. 4. CtO. København, 1936.
- 1936 Suenson, E. Portlandcementens stamtræ. *Dansk Andels Cementfabriks jubilæumsskrift*. København, 1936.
- 1936 Vinding, P. Vibrering af veje med vibrator-maskine. *Beton-Teknik* vol. 2, nr. 4. CtO. København, 1936.
- 1937 Boesgaard, E. Autoværnet. *Beton-Teknik* vol. 3, nr. 2. CtO. København, 1937.
- 1937 Brandt, J. Brandts betondæk. *Bygmesteren* vol. 30, side 135. København, 1937.
- 1937 CtO. Nopsa-byggemåden. *Beton-Teknik* vol. 3, nr. 2. CtO, København, 1937.
- 1937 Dansk Vejlaboratorium. Fuger i betonveje. *Beton-Teknik* vol. 3, nr. 1. CtO. København, 1937.
- 1937 DIF. Beton i havvand. *Ingeniøren* vol. 40, nr. 21 og 48. København, 1937.
- 1937 Flensborg, H. Storstrømsbroen med tilsluttende anlæg. *Ingeniøren* vol. 46, nr. 59. København, 1937.
- 1937 Goele, P. Betonbelægningernes udbredelse i Danmark. *Beton-Teknik* vol. 3, nr. 1. CtO. København, 1937.
- 1937 Grambye, C. Cellebeton. *Beton-Teknik* vol. 3, nr. 3. CtO, København, 1937.
- 1937 *Ingeniøren*. Vacuumbeton. *Ingeniøren* vol. 46, nr. 13. København, 1937.
- 1937a Meyer, E. V. Fremgangsmåden til bestemmelse af vandindhold i sand. *Beton-Teknik* vol. 3, nr. 1. CtO, København, 1937.
- 1937b Meyer, E. V. Metode til kombineret af tilslagsmaterialer med forskellige sigtekurver. *Beton-Teknik* vol. 3, nr. 1. CtO, København, 1937.
- 1937 Moe, A. J. Om sikkerhedsgraden. *Bygningsstatistiske Meddelelser* vol. 9. København, 1937.
- 1937a Nøkkentved, C. Husbygningnormerne. *Stads- og Havneingeniøren* vol. 28, nr. 8. København, 1937.



- 1937b Nøkkentved, C. Jernbetonnormerne. Stads- og Havneingeniøren vol. 28, nr. 8. København, 1937.
- 1937 Poulsen, A. Molerementen gennem et kvart århundrede. Ingeniøren vol. 46, nr. 69. København, 1937.
- 1937 Suenson, E. Flade betontage. Beton-Teknik vol. 3, nr. 4. København, 1937.
- 1938 Cardan, B. Fra en studierejse i Nordamerika. Bygningsstatistiske Meddelelser vol. 10. København, 1938.
- 1938 CtO. Besigtigelse af betonveje. Beton-Teknik vol. 4, nr. 2. CtO. København, 1938.
- 1938 CtO. Moler-letbeton. Beton-Teknik vol. 4, nr. 1. CtO, København, 1938.
- 1938 CtO. Pudslag på betongulve. Beton-Teknik vol. 4, nr. 4. CtO. København, 1938.
- 1938 Dyrup, S. Behandling af beton med maling. Beton-Teknik vol. 4, nr. 4. København, 1938.
- 1938 Goele, P. Anvendelse af betonbelægninger i Danmark i året 1937. Beton-Teknik vol. 3, nr. 1. CtO. København, 1938.
- 1938 Halfdan-Nielsen, R. Vilsundbroen. Beton-Teknik vol. 4, nr. 3. København, 1938.
- 1938 Knudsen, C. L. Nyere broanlæg ved de danske statsbaner. Ingeniøren vol. 47, nr. 84. København, 1938.
- 1938 Meyer, E. V. Vandtæt beton. Beton-Teknik vol. 3, nr. 3 og vol. 4, nr. 3. CtO, København, 1938.
- 1938a Moe, A. J. Isteg-Jern. Den tekniske Forenings Tidsskrift nr. 5. København, 1938.
- 1938b Moe, A. J. Problemer ved jernbetons anvendelse i husbygning. Arkitekten vol. 40, nr. 1. København, 1938.
- 1938a Ostenfeld, C. mfl. Bærende konstruktioner. Murværk og Jernbeton. Egmont H. Petersens kgl. hof-bogtrykkeri. København, 1938.
- 1938b Ostenfeld, C. mfl. Forsøg med molerdæk. Arkitekten vol. 40, nr. 17, 19, 22 og 26. København, 1938.
- 1938 Poulsen, A. Tilsyneladende tæt beton. Ingeniøren vol. 47, nr. 3, 6, 28 og 42. København, 1938.
- 1938 Schlegel, F. Bygningsform. Murværk og Jernbeton. Egmont H. Petersens kgl. hof-bogtrykkeri. København, 1938.
- 1938 Sthyr, V. Cementrør. Beton-Teknik vol. 4, nr. 1. København, 1938.
- 1938a Suenson, E. Betons vandtæthed. Ingeniøren vol. 47, nr. 28 og 9. København, 1938.
- 1938b Suenson, E. Husbygningstekniske problemer. Ingeniøren vol. 47, nr. 30. København, 1938.
- 1938c Suenson, E. mfl. Materialprovningens betydelse för byggnadsindustrien. Byggmästaren vol. 12, nr. 5-6. Stockholm, 1938.
- 1939 Andreasen, A. H. M. The fineness of solids. Ingeniørvidenskabelige skrifter nr. 3. ATV og DIF. København, 1939.

- 1939 Baren, O. A. Kvæsthusbroens ombygning (perrontag). Ingeniøren vol. 48, nr. 8. København, 1939.
- 1939 Bendix, A. Er en betontrappe af færdigstøbte dele en opfindelse? Bygmesteren vol. 32, side 183. København, 1939.
- 1939 Clausen, C. C. Jernbetonoliebeholdere og andre anvendelser af vandtæt beton. Beton-Teknik vol. 5, nr. 4. CtO. København, 1939.
- 1939a CtO. Betons hærkning i kulde. Beton-Teknik vol. 5. CtO. København, 1939.
- 1939b CtO. Gasbeton. Beton-Teknik vol. 5, nr. 1. CtO, København, 1939.
- 1939c CtO. Isoleringsmaterialer indeholdende cement. Klinkerbeton. Beton-Teknik vol. 5, nr. 4. CtO, København, 1939.
- 1939d CtO. Klinkerbeton. Beton-Teknik vol. 5, nr. 4. CtO, København, 1939.
- 1939 Godskesen, O. Beskadigelse af pæle ved ramning. Ingeniøren vol. 48, nr. 76. København, 1939.
- 1939 Ishøj, E. Betonkontrol af færdigstøbte dele. Arkitekten vol. 41, side 45. København, 1939.
- 1939 Jørgensen, O. P. Jernbetonskorsten. Ingeniøren vol. 48, nr. 8. København, 1939.
- 1939a Meyer, E. V. Damphærkning ved cementvarefabrikation. Beton-Teknik vol. 5, nr. 2. CtO. København, 1939.
- 1939b Meyer, E. V. Nogle erfaringer på jernbetonens område. Ingeniør- og Bygningsvæsen vol. 34, nr. 11. København, 1939.
- 1939a Ostenfeld, C. Bro over Aggersund. Ingeniøren vol. 48, nr. 56. København, 1939.
- 1939b Ostenfeld, C. mfl. Jernbetonarbejdet. Murværk og Jernbeton. Egmont H. Petersens kgl. hof-bogtrykkeri. København, 1939.
- 1939 Paulli, H. mfl. Billig beton. Ingeniøren vol. 48, nr. 62. København, 1939.
- 1939 Plum, N. M. Nyere amerikanske og engelske erfaringer vedrørende vibreret beton. Ingeniøren vol. 48, nr. 42. København, 1939.
- 1939 Poulsen, A. Beton-trykvand-puzzolan. Ingeniøren vol. 48, nr. 56. København, 1939.
- 1939 Suenson, E. Fugtighed i flade betontages varmeisolerende stoffer. Ingeniøren vol. 48, nr. 17. København, 1939.
- 1940a CtO. Betonveje. Brochure fra CtO. København, 1940.
- 1940b CtO. Humusindhold i betongrus. Beton-Teknik vol. 6, nr. 2. CtO. København, 1940.
- 1940 Dansk Vejlaboratorium. En undersøgelse vedrørende betydningen af humusindhold i betongrus. Beton-Teknik vol. 6, nr. 2. CtO, København, 1940.
- 1940 DIF. Husbygningsteknisk Kursus. Kursusberetning. Bygningsingeniørgruppen. København 1940.
- 1940 DIF. Klinkerbeton. Ingeniøren vol. 49, nr. 75. København, 1940.

- 1940a Dührkop, H. Betons krybning. Teknisk Forenings Tidsskrift vol. 64, nr. 4. København, 1940.
- 1940b Dührkop, H. Plastisk eftervirkning i beton. DIFs Husbygningsteknisk Kursus. Teknisk Forlag. København, 1940.
- 1940 Goele, P. Betonbelægninger i Danmark 1939. Beton-Teknik vol. 6, nr. 1. CtO. København, 1940.
- 1940 Heilesen, C. V. Nopsa-gård i Lille Vildmark. Beton-Teknik vol. 6, nr. 3. CtO. København, 1940.
- 1940 Ishøj, E. Priser og valuta ved forskellige alm. anvendte typer. Ingeniøren vol. 49, nr. 15. København, 1940.
- 1940 Johansen, K. W. Strengbeton. Bygningsstatistiske Meddelelser vol. 11, nr. 2. København, 1940.
- 1940 Københavns Bygningsvæsen. Rustsprængninger i jernbetonetageadskillelser. Meddelelser fra Københavns Bygningsvæsen vol. 1, nr. 3. København, 1940.
- 1940a Meyer, E. V. Etageadskillelser. Bisondæk. Beton-Teknik vol. 6, nr. 2. København, 1940.
- 1940b Meyer, E. V. Overfladebehandling af beton med særligt henblik på facader. DIFs Husbygningsteknisk Kursus. København, 1940.
- 1940c Meyer, E. V. Revnedannelse i nystøbt beton. Beton-Teknik vol. 6, nr. 3. CtO. København, 1940.
- 1940a Moe, A. J. Al-cement-betons styrketab ved opvarmning. Ingeniøren vol. 49, nr. 29. København, 1940.
- 1940b Moe, A. J. Bygningsforanstaltninger til civilbefolkningens værn mod luftangreb. Teknisk Forenings Tidsskrift vol. 64, nr. 1. København, 1940.
- 1940c Moe, A. J. Etageadskillelser. Formetadæk. Beton-Teknik vol. 6, nr. 2. CtO. København, 1940.
- 1940d Moe, A. J. Revner i jernbetonhuse. DIFs Husbygningsteknisk Kursus. København, 1940.
- 1940 Plum, N. M. Vibreret beton. Ingeniøren vol. 49, nr. 29. København, 1940.
- 1940 Poulsen, A. Betons tæthed. Ingeniøren vol. 49, nr. 46. København, 1940.
- 1940 Steensen, N. Etageadskillelser. DIFs Husbygningsteknisk Kursus. Teknisk Forlag. København, 1940.
- 1940a Sthyr, V. Vibrering af beton. Beton-Teknik vol. 6, nr. 4. CtO. København, 1940.
- 1940b Sthyr, V. Beton til husbygning. DIFs Husbygningsteknisk Kursus. København, 1940.
- 1940a Suenson, E. Ændring af DIFs normer for betonkonstruktioner. Ingeniøren vol. 49, nr. 83. København, 1940.
- 1940b Suenson, E. Etageadskillelser. Tegldæk, Molerdæk, Sperledæk, Baumadæk, Lindsdæk, Skandiadæk. Beton-Teknik vol. 6, nr. 1. København, 1940.

- 1940c Suenson, E. Husbygningstekniske fejl. DIFs Husbygningsteknisk Kursus. Teknisk Forlag. København, 1940.
- 1940d Suenson, E. Stålsorters indflydelse på jernbetonbjælkens styrke og deformationer. Ingeniørvidenskabelige skrifter nr. 11. København, 1940.
- 1941a CtO. Klinkerbeton. Beton-Teknik vol. 7, nr. 3. CtO, København, 1941.
- 1941b CtO. Siporex. Beton-Teknik vol. 7, nr. 4. CtO, København, 1941.
- 1941 Ewald, H. R. Ændring af DIFs normer for jernbetonkonstruktioner. Ingeniør- og Bygningsvæsen vol. 36, nr. 19. København, 1941.
- 1941 Ingeniøren. Kontrol med betonvarer. Ingeniøren vol. 50, nr. 80. København, 1941.
- 1941 Magnusson, I. Anvendelse af damphærdet gasbeton. Beton-Teknik vol. 7, nr. 4. CtO, København, 1941.
- 1941 Meyer, E. V. Hvorledes anvendes isolationsmaterialer mest hensigtsmæssigt ved isolering af ydervægge i betonhuse? Beton-Teknik vol. 7, nr. 3. CtO. København, 1941.
- 1941 Paulsen, J. Støbningen af udkragede fortove på Ulvsundbroen. Beton-Teknik vol. 7, nr. 4. København, 1941.
- 1941 Poulsen, A. mfl. Hellere ral end skærver. Ingeniøren vol. 50, nr. 69 og 83. København, 1941.
- 1941a Suenson, E. Husbygningsnormer. Ingeniøren vol. 50, nr. 2. København, 1941.
- 1941b Suenson, E. Pladebeklædning af beton og murværk. Beton-Teknik vol. 7, nr. 1. CtO, København, 1941.
- 1941 Thorup, C. J. mfl. Overbelastede bygninger. Ingeniøren vol. 50, nr. 28, 39 og 50. København, 1941.
- 1942 Andersen, J. Bestemmelse af blandingsforhold og cementmængde i beton eller cementmørtel. Beton-Teknik vol. 8, nr. 3. CtO, København, 1942.
- 1942 Bülow, P. M. Håndbog for formænd ved jord- og betonarbejde. København, 1942.
- 1942a CtO. Dansk Ingeniørforenings normer for S-cement. Beton-Teknik vol. 8, nr. 3. CtO. København, 1942.
- 1942b CtO. Dansk S-cement. Beton-Teknik vol. 8, nr. 3. CtO. København, 1942.
- 1942 DIF. Moderne betontechnik. Betontechnikens udvikling gennem de senere år. DIFs kursusberetning. København, 1942.
- 1942 Jespersen, S. F. Betonarbejdets udførelse. Moderne Betontechnik. København, 1942.
- 1942 Krog, A. K. Isoleringsproblemer ved tage. Ingeniøren vol. 51, nr. 35. København, 1942.
- 1942a Meyer, E. V. Blandingsforholdsbestemmelse for uafbundet beton eller mørtel ved fysisk undersøgelse. Beton-Teknik vol. 8, nr. 3. CtO, København, 1942.
- 1942b Meyer, E. V. Fremgangsmåde til bestemmelse af lerindhold i tilslagsmaterialer til beton. Beton-Teknik vol. 8, nr. 4. CtO, København, 1942.

- 1942c Meyer, E. V. Isolering af ydervægge og materialer dertil. Ingeniøren vol. 51, nr. 35. København, 1942.
- 1942d Meyer, E. V. S-cement. Ingeniøren vol. 51, nr. 75. København, 1942.
- 1942a Ostenfeld, C. Armering af jernbetonkonstruktioner. DIFs kursus. Moderne betonteknik. København, 1942.
- 1942b Ostenfeld, C. mfl. Overbelastede bygninger. Ingeniøren vol. 51, nr. 43, 50, 51 og 58. København, 1942.
- 1942a Plum, N. M. Cementbesparelser. Ingeniøren vol. 51, nr. 68. København, 1942.
- 1942b Plum, N. M. Moderne komprimeringsmetoder. DIFs kursusberetning. Moderne betonteknik. København, 1942.
- 1942 Referat. Kursus i moderne betonteknik 5.-7. februar 1942. Ingeniøren vol. 51, nr. 7, 8 og 14. København, 1942.
- 1942 Riis, A. Bør der til armering af betonbelægninger anvendes hårdt stål fremfor blødt - eller omvendt? Stads- og Havneingeniøren vol. 33, nr. 1. København, 1942.
- 1942 Schröder, K. Nogle bemærkninger om frostsprængninger. Meddelelser fra Københavns Bygningsvæsen vol. 3, nr. 3. København, 1942.
- 1942 Steensen, S. Jernbesparelse i jernbeton. Ingeniøren vol. 51, nr. 2 og 62. København, 1942.
- 1942 Sthyr, V. Betonvarekontrollen. Stads- og Havneingeniøren vol. 33, nr. 12. København, 1942.
- 1942a Suenson, E. Betonrørs vandtæthed. Beton-Teknik vol. 8, nr. 1. CtO. København, 1942.
- 1942b Suenson, E. Betons sammensætning. Moderne betonteknik, DIFs kursusberetning. København, 1942.
- 1942 Warming, A. mfl. Svejsning af armeringsjern i jernbetonkonstruktion. Ingeniøren vol. 51, nr. 42. København, 1942.
- 1942 Westergaard, V. A. Betonvarekontrollen. Beton-Teknik vol. 8, nr. 1. København, 1942.
- 1943 Andersen, J. Undersøgelser af beton til fastlæggelse af fejl ved materialer eller ved fremstillingen. Beton-Teknik vol. 9, nr. 4. CtO. København, 1943.
- 1943 CtO. Bemærkninger vedrørende nogle muligheder for en mere økonomisk anvendelse af cementen. Beton-Teknik vol. 9, nr. 1. CtO. København, 1943.
- 1943 DIF. Foreløbige normer for betonkonstruktioner. Dansk Ingeniørforening. København, 1943.
- 1943a Dührkop, H. mfl. Foreløbige normer for beton- og jernbetonkonstruktioner. Beton-Teknik vol. 9, nr. 3. CtO. København, 1943.
- 1943b Dührkop, H. Pudsskyende beton. Sukkerskadet beton. Beton-Teknik vol. 9, nr. 4. CtO. København, 1943.
- 1943 Godskesen, O. Betonrørs ødelæggelse under fyld indeholdende glimmerler. Beton-Teknik vol. 9, nr. 3. CtO. København, 1943.

- 1943 Goelé, P. Foreløbige betingelser for udførelse af betonveje. Referat af teknisk samtale. Ingeniøren vol. 52, nr. 82. København, 1943.
- 1943 Haderup, E. Jernbeton mod sprængbomber. Ingeniøren vol. 52, nr. 68. København, 1943.
- 1943 Knudsen, C. L. Temperaturrevner i betonkonstruktioner. Ingeniøren vol. 52, nr. 28. København, 1943.
- 1943 Lundgren, H. Nogle kommentarer til de af DIF i marts 1943 udgivne foreløbige normer for beton- og jernbetonkonstruktioner. Ingeniøren vol. 52, nr. 82. København, 1943.
- 1943 Meyer, E. V. Betonsammensætning. Beton-Teknik vol. 9, nr. 1. CtO, København, 1943.
- 1943 Newman, A. J. Effects of the Addition of Calcium Chloride to Portland Cement Concrete. Concrete and Constructional Engineering vol. 38 nr. 5. London 1943.
- 1943a Plum, N. M. mfl. Foreløbige normer for beton- og jernbetonkonstruktioner, nogle kommentarer. Ingeniøren vol. 52, nr. 82. København, 1943.
- 1943b Plum, N. M. mfl. Nyere synspunkter vedrørende betonsammensætningen. Ingeniøren vol. 52, nr. 8 og 28. København, 1943.
- 1943 Sodemann, F. Korrektion for bestemmelse af  $\sigma_b$  ved betonprøvebjælker. Bygningsstatistiske Meddelelser vol. 14, nr. 4. København, 1943.
- 1943a Suenson, E. Gammelt jernbetondæks krybning. Ingeniøren vol. 52, nr. 48. København, 1943.
- 1943b Suenson, E. Hæmmes cements hærkning af saltet i havgrus? Ingeniøren vol. 52, nr. 55. København, 1943.
- 1943 Winkel, C. T. Hydraulisk gennempresning af rørledninger. Beton-Teknik vol. 9, nr. 2. København, 1943.
- 1943 Zachariassen, J. A. Undersøgelser over sammensætningen af vibreret beton. Ingeniøren vol. 52, nr. 48. København, 1943.
- 1944 Bjuggren, U. Strengbeton. Beton-Teknik vol. 10, nr. 3. CtO. København, 1944.
- 1944 CtO. Beton ABC. Cementfabrikkernes tekniske Oplysningskontor. København, 1944.
- 1944 Friis-Jespersen, S. Detailler af udvidelsesfuger. Beton-Teknik vol. 10, nr. 4. CtO. København, 1944.
- 1944 Høgsbro, J. Hulstensdæks forhold ved brand. Arkitekten vol. 46, nr. 11. København, 1944.
- 1944 Knudsen, C. L. Beton, vandcementtal, konsistens og blandingsforhold mv. Ingeniøren vol. 53, nr. 3. København, 1944.
- 1944 Lauersen, C. Svømmende gulve på jernbeton. Arkitekten vol. 46, nr. 15. København, 1944.
- 1944a Meyer, E. V. 10 års betonteknik. Beton-Teknik vol. 10, nr. 4. København, 1944.

- 1944b Meyer, E. V. Bestemmelse af blandingsforholdet for beton til maskinstampede rør. Beton-Teknik vol. 10, nr. 1. København, 1944.
- 1944c Meyer, E. V. Langtidsprøvning af cementrør. Beton-Teknik vol. 10, nr. 2. København, 1944.
- 1944d Meyer, E. V. Nem fremgangsmåde til bestemmelse af et grovhestal. Ingeniøren vol. 53, nr. 68. København, 1944.
- 1944 Moe, A. J. Offentlige tilflugtsrum af beton. Beton-Teknik vol. 10, nr. 3. CtO. København, 1944.
- 1944 Plum, N. M. Concrete Manual. Christiani & Nielsen bulletin, nr. 39. København, 1944.
- 1944 Suenson, E. Betons poreformer og vandtæthed. Ingeniøren vol. 53, nr. 42. København, 1944.
- 1945 Andersen, J. mfl. Prøvning af maskinstampede betonrør. Beton-Teknik vol. 11, nr. 2. CtO. København, 1945.
- 1945a CtO. Betonbelægninger. Skader, støvdannelse. Beton-Teknik vol. 11, nr. 3. CtO. København, 1945.
- 1945b CtO. Betonrør støbt og lagret i koldt vejr. Beton-Teknik vol. 11, nr. 2. CtO. København, 1945.
- 1945c CtO. Betons afbinding. Beton-Teknik vol. 11, nr. 3. CtO. København, 1945.
- 1945d CtO. Forsøg med betonrør støbt med S-cement. Beton-Teknik vol. 11, nr. 1. CtO. København, 1945.
- 1945 Dührkop, H. Prøvning af beton. Ingeniøren vol. 54, nr. 30. København, 1945.
- 1945 Engelund, A. Brobygning II. Gjellerups Forlag. København, 1945.
- 1945 Jørgensen, A. R. De kuppelformede tilflugtsrum af beton. Ingeniøren vol. 54, side 304. København, 1945.
- 1945 Jørgensen, O. P. Jernbetonbeholdere til olie og benzin. Beton-Teknik vol. 11, nr. 2. CtO. København, 1945.
- 1945 Knudsen, C. L. Overskud af kitmasse. Ingeniøren vol. 54, nr. 1. København, 1945.
- 1945 Manniche, N. J. Underjordiske parkeringsanlæg. Ingeniøren vol. 54. København, 1945.
- 1945 Mansa, J. H. Frigivelse af jern til mindre jernbetonkonstruktioner. Ingeniøren vol. 54, nr. 34. København, 1945.
- 1945a Meyer, E. V. Betons afbinding. Beton-Teknik vol. 11, nr. 3. CtO. København, 1945.
- 1945b Meyer, E. V. Et internationalt grovhestal. Ingeniøren vol. 54, nr. 30. København, 1945.
- 1945c Meyer, E. V. Lidt mere om grovhestal. Ingeniøren vol. 54, nr. 1. København, 1945.
- 1945d Meyer, E. V. Overskud af kitmasse. Ingeniøren vol. 54, nr. 5. København, 1945.

- 1945 Moe, A. J. De første erfaringer med offentlige tilflugtsrum. *Ingeniøren* vol. 54, side 168, 224, 304 og 305. København, 1945.
- 1945 Plum, N. M. Prøvning af beton. *Ingeniøren* vol. 54, nr. 22 og 30. København, 1945.
- 1945 Suenson, E. Et internationalt grovhedstal. *Ingeniøren* vol. 54, nr. 18. København, 1945.
- 1946a CtO. Anvendelse af aktiveret mørtel. *Beton-Teknik* vol. 12, nr. 4. CtO. København, 1946.
- 1946b CtO. Betonhulsten. *Beton-Teknik* vol. 12, nr. 4. CtO, København, 1946.
- 1946c CtO. Lidt om 'Air-Entraining'-Cement. *Beton-Teknik* vol. 12, side 23. CtO, København, 1946.
- 1946d CtO. Super-Portlandcement, ny dansk cementsort under forberedelse. *Beton-Teknik* vol. 12, nr. 3. CtO. København, 1946.
- 1946 Dührkop, H. Fremstiller vi vor husbygningsmørtel rigtigt? *Ingeniøren* vol. 55, nr. 44. København, 1946.
- 1946 Hansen, G. Undersøgelser over elektriske modstandsvariationer under cementmørtlers størkning ved forskellige temperaturer. *Dansk Teknisk Tidsskrift* vol. 70, nr. 4-5. København, 1946.
- 1946 *Ingeniøren*. Armering af beton med forspændte betonstænger. *Ingeniøren* vol. 55, nr. 31. København, 1946.
- 1946 Lamm, A. R. Cirkulære betonbeholdere med forspændt armering. *Ingeniøren* vol. 55, nr. 18. København, 1946.
- 1946 Meyer, E. V. Styrkeresultater med S-cement. *Ingeniøren* vol. 55, nr. 18. København, 1946.
- 1946 Smith, F. W. Styrkeresultater med S-cement. *Ingeniøren* vol. 55, nr. 14. København, 1946.
- 1946 Suenson, E. Vanddamps diffusion i vægge og rørkapper. *Ingeniørvidenskabelige skrifter*, nr. 2. København, 1946.
- 1947 Andersen, J. Prøvning af betonblandere. *Beton-Teknik* vol. 13, nr. 2. CtO. København, 1947.
- 1947 Barfod, O. T. Betons sidetryk på støbeformen. *Ingeniøren* vol. 56, nr. 5. København, 1947.
- 1947 CtO. Betonkontrol til bestemmelse af tilslagsmaterialernes hulrum. *Beton-Teknik* vol. 13, nr. 1. CtO, København, 1947.
- 1947 Engel, N. Undersøgelse til støtte for udarbejdelse af nye normer for betonstål. *Ingeniøren* vol. 56, nr. 33. København, 1947.
- 1947 Gjerding, E. Anvendelse af færdigstøbte jernbetonspærfag. *Beton-Teknik* vol. 13, nr. 4. København, 1947.
- 1947 Lyse, I. Proporsjonering av beton. *Ingeniøren* vol. 56, nr. 19. København, 1947.
- 1947a Meyer, E. mfl. Betonkontrol på byggepladser. *Beton-Teknik* vol. 13, nr. 1. CtO. København, 1947.



- 1947b Meyer, E. V. Aktiveret mørtel. Beton-Teknik vol. 13, nr. 1. CtO. København, 1947.
- 1947a Plum, N. M. De praktiske muligheder for ved rationale arbejdsmetoder at tilsi­k­re større ensartethed af betonkvaliteten. Ingeniøren vol. 56, nr. 16. København, 1947.
- 1947b Plum, N. M. Uddrag af rapport fra en betonstudierejse i USA. Ingeniøren vol. 56, nr. 16. København, 1947.
- 1947c Plum, N. M. Uddrag af rapport fra en betonstudierejse i USA marts-juni 1946. Ingeniøren, nr. 16. København, 1947.
- 1947 Spangenberg, C. F. Fremstiller vi vor husbygningsmørtel rigtigt? Ingeniøren vol. 56, nr. 1. København, 1947.
- 1947a Suenson, E. Danske 80 årige betenhuse. Beton-Teknik vol. 13, nr. 2. CtO. København, 1947.
- 1947b Suenson, E. Etageadskillelser. Lerindustrien vol. 50, side 40-66. København, 1947.
- 1948 CtO. Beton-åjlebeholdere. Brochure fra CtO. København, 1948.
- 1948 Efsen, A. Elementær Jernbeton. Gjellerups Forlag. København, 1948.
- 1948 Glarbo, O. Luftporebeton. Ingeniøren vol. 57, nr. 51. København, 1948.
- 1948 Gravesen, L. Omkring et byggecenter, indtryk fra opbygningsarbejdet i Holland. Ingeniøren vol. 57, nr. 45. København, 1948.
- 1948 Hartmann, P. Ståltegldæk. Arkitekten vol. 50, nr. 42. København, 1948.
- 1948a Ipsen, J. mfl. Ståltegldæk. Dansk Teknisk Tidsskrift vol. 72, nr. 7. København, 1948.
- 1948b Ipsen, J. Ståltegldæk, en ny dansk fabrikation. Ingeniør- og bygningsvæsen vol. 43, nr. 22. København, 1948.
- 1948 Ishøj, E. Rationelt boligbyggeri. Ingeniøren vol. 57, nr. 5. København, 1948.
- 1948a Knudsen, C. L. Betonblandinger med konstant vandcementtal. Bygningsingeniøren 1948, side 135. København, 1948.
- 1948b Knudsen, C. L. Forholdet mellem mængderne af sten og sand i betonblandinger. Bygningsingeniøren 1948. København, 1948.
- 1948 Københavns Bygningsvæsen. Rustfortærede jernbjælker. Meddelelser fra Københavns Bygningsvæsen vol. 9, nr. 3. København, 1948.
- 1948 Manniche, N. J. Underjordiske parkeringsanlæg. Trafik og Teknik vol. 13, nr. 4. København, 1948.
- 1948a Meyer, E. V. En enkel metode til bestemmelse af luftindholdet i beton. Beton-Teknik årg. 14, nr. 2. CtO. København, 1948.
- 1948b Meyer, E. V. Hustyper anvendt i Danmark ved krisebyggeri. Beton-Teknik vol. 14, nr. 4. CtO. København, 1948.
- 1948c Meyer, E. V. Kontrol med kornsammensætningen af grus til betonstøbning. Beton-Teknik vol. 14, nr. 2. CtO, København, 1948.

- 1948d Meyer, E. V. Kystsikringsarbejder ved Thyborøn. Beton-Teknik vol. 14, nr. 3. CtO. København, 1948.
- 1948 Ostenfeld, C. Forspændte betonkonstruktioner. Praktiske anvendelser. Bygningsingeniøren, nr. 5. København, 1948.
- 1948 Paulli, H. Super-rapid-cement. Beton-Teknik vol. 14, nr. 2. CtO. København, 1948.
- 1948a Plum, N. M. Betonteknologi. Mur og Beton. København, 1948.
- 1948b Plum, N. M. Nogle principielle betragtninger vedrørende fremgangsmåde og rækkefølge ved betonproportionering. Bygningsingeniøren, København, 1948.
- 1948 Rasmussen, S. Jord- og betonarbejderne kræver mere viden og bedre uddannelse. Ingeniøren vol. 57, nr. 25. København, 1948.
- 1948 SBI. Foreløbig vejledning i betonstøbning om vinteren. DIFs arbejdsgruppe for Beton og Jernbeton. SBI-anvisning 2. København, 1948.
- 1948 Stephensen, S. W. Nye byggemetoder i Norge. Beton-Teknik vol. 14, nr. 4. CtO. København, 1948.
- 1949 Bredsdorff, P. Betonforskningens resultater og mål i dag. Beton og Jernbeton vol. 1, nr. 1. København, 1949.
- 1949a Brinch Hansen, J. Betons sidetryk under støbningen. Beton og Jernbeton vol. 1, nr. 1. København, 1949.
- 1949b Brinch Hansen, J. Betons sidetryk under støbningen. Ingeniøren vol. 58, nr. 16. København, 1949.
- 1949a Dalberg-Hansen, P. Betonforskningens resultater og mål i dag. Ingeniøren vol. 58, nr. 23. København, 1949.
- 1949b Dalberg-Hansen, P. Betonforskningens resultater og mål i dag. Beton og Jernbeton årg. 1, nr. 1. København, 1949.
- 1949 Dam, H. Forbedring af betons holdbarhed. Ingeniøren vol. 58, nr. 53. København, 1949.
- 1949 DIF. Dansk Ingeniørforenings normer for bygningskonstruktioner, 2. Beton- og jernbetonkonstruktioner, DS 411. København, 1949.
- 1949 Forum, C. F. Hvad har vi lært om L-beton? Beton og Jernbeton vol. 1, nr. 3. København, 1949.
- 1949 Gerløv-Knudsen, mfl. Husbygningsteknik. Gjellerups Forlag. København, 1948.
- 1949 Grambye, C. V. Forskallingsmaterialepris. Ingeniøren vol. 58, nr. 17. København, 1949.
- 1949 Hansen, G. Ståls ældning. Dansk Teknisk Tidsskrift nr. 3. København, 1949.
- 1949 Hansen, V. Forstås forsøgsresultaterne rigtigt? Beton og Jernbeton vol. 1, nr. 3. København, 1949.
- 1949 Heilmann, T. Beton med luftindblandingsmidler. Beton-Teknik årg. 15, nr. 1. CtO. København, 1949.

- 1949 Ingerslev, E. Temperature stresses in reinforced concrete walls. *Beton og Jernbeton* vol. 1, nr. 3. København, 1949.
- 1949 Jensen, E. Varmespændinger i jernbetonskorstene. *Ingeniøren* vol. 58, nr. 52. København, 1949.
- 1949 Jeppesen, A. Ældningsskørhed hos stål. *Ingeniøren* vol. 58, nr. 41. København, 1949.
- 1949 Jørgensen, A. R. Om dimensionering af beskyttelsesrum. *Ingeniøren* vol. 58, nr. 18. København, 1949.
- 1949 Knudsen, K. B. Er dilatationsfuger i betonvægge nødvendige? *Ingeniøren* vol. 58, nr. 49. København, 1949.
- 1949a Københavns Bygningsvæsen. Ildebrand. Ødelæggelse af jernbetonkonstruktioner. *Meddelelser fra Københavns Bygningsvæsen* vol. 10, nr. 4. København, 1949.
- 1949b Københavns Bygningsvæsen. Om bygningsvedligehold, med 10 foto af ødelagte betonkonstruktioner. *Meddelelser fra Københavns Bygningsvæsen* nr. 1. København, 1949.
- 1949a Krog, A. K. mfl. Forspændte betonkonstruktioner. *Arkitekten* vol. 51, nr. 35. København, 1949.
- 1949b Krog, A. K. Skudhammeren. *Ingeniøren* vol. 58, nr. 52. København, 1949.
- 1949a Meyer, E. V. Blandingsforhold for beton til betonvarer. *Beton-Teknik* vol. 15, nr. 3. CtO, København, 1949.
- 1949b Meyer, E. V. Bør vi anvende v/c-forholdet eller c/v-forholdet? *Beton og Jernbeton* vol. 1, nr. 3. København, 1949.
- 1949c Meyer, E. V. Bør vi anvende v/c-forholdet eller c/v-forholdet? *Ingeniøren* vol. 58, nr. 49. København, 1949.
- 1949d Meyer, E. V. En enkel metode til bestemmelse af luftindholdet i beton. *Beton-Teknik* vol. 14, nr. 2. CtO, København, 1948.
- 1949e Meyer, E. V. Fugtighedsproblemer ved tagkonstruktioner. *Ingeniøren* vol. 58, nr. 1. København, 1949.
- 1949f Meyer, E. V. Nye jernbetonnormer. *Beton-Teknik* vol. 15, nr. 4. CtO. København, 1949.
- 1949g Meyer, E. V. Overfladebehandling af beton og letbeton. *Beton-Teknik* vol. 15, nr. 2. CtO. København, 1949.
- 1949h Meyer, E. V. Pudslag på betongulve. *Beton-Teknik* vol. 15, nr. 3. CtO. København, 1949.
- 1949 Mønsted, M. Deformationer på grund af uensformig temperatur. *Ingeniøren* vol. 58. København, 1949.
- 1949 Ostenfeld, C. Forspændte stålteglkonstruktioner. *Ingeniøren* vol. 58, nr. 2. København, 1949.
- 1949a Plum, N. M. Bør vi anvende v/c-forholdet eller c/v-forholdet? *Beton og Jernbeton* vol. 1, nr. 2. København, 1949.

- 1949b Plum, N. M. Bør vi anvende v/c-forholdet eller c/v-forholdet? Ingeniøren vol. 58, nr. 37. København, 1949.
- 1949 Rübner-Petersen, K. Virkningen af en afmålingsfejl på betons ensartethed. Beton og Jernbeton vol. 1, nr. 2. København, 1949.
- 1949 SBI. Vinterbyggeriets ABC. SBI-anvisning 4. SBI. København, 1949.
- 1949 Suenson, E. Vand i flade betontage. Ingeniøren vol. 58, nr. 30. København, 1949.
- 1949a Zeuthen Heidam, K. Elektrolytisk indvirkning på jernbetons styrke. Beton og Jernbeton vol. 1, nr. 2. København, 1949.
- 1949b Zeuthen Heidam, K. Elektrolytisk indvirkning på jernbetons styrke. Ingeniøren vol. 58, nr. 30. København, 1949.
- 1950 Andersen, A. mfl. Om anvendelse af lydastighed i beton til bestemmelse af dens øvrige egenskaber. SBI-særtryk 11. København, 1950.
- 1950 Andersen, J. Prøvning af cement og beton. Beton I, Materialerne. DIFs arbejdsgruppe for beton og jernbeton. Teknisk Forlag, København, 1950.
- 1950 Andersen, S. E. mfl. Luftindhold i beton og airmetrets teori. Laboratoriet for Bygningsteknik, DTH. Eksamensprojekt, ikke publiceret. København 1950.
- 1950 Christensen, O. Skader på beton. Beton bind I, Materialerne. DIFs arbejdsgruppe for beton og jernbeton. Teknisk Forlag, København, 1950.
- 1950 CtO. Oplysninger om nogle gamle danske betonveje. Beton-Teknik vol. 16, nr. 4. CtO. København, 1950.
- 1950 DIF. Beton I, II og III. Materialerne. Proportionering. Arbejdspladsen. DIF's Arbejdsgruppe for Beton og Jernbeton. Kursusberetning. Teknisk Forlag, København 1950.
- 1950 Fjeldborg, J. Om anvendelse af betonpumper ved betonstøbning. Ingeniøren vol. 59, nr. 42. København, 1950.
- 1950 Forum, C. F. Hvad har vi lært om L-beton? Ingeniøren vol. 59, nr. 8. København, 1950.
- 1950a Glarbo, O. Beregning af  $\sigma$  på basis af prøvebjælker. Beton Bind II, Proportionering. DIFs arbejdsgruppe for beton og jernbeton. Teknisk Forlag, København, 1950.
- 1950b Glarbo, O. Bør vi anvende v/c-forholdet eller c/v-forholdet? Ingeniøren vol. 59, nr. 3. København, 1950.
- 1950c Glarbo, O. mfl. Øvelser i betonproportionering. Beton II, Betonproportionering. DIFs arbejdsgruppe for beton og jernbeton. Teknisk Forlag, København, 1950.
- 1950d Glarbo, O. Proportioneringsvejledning. Beton II, Betonproportionering. DIFs arbejdsgruppe for beton og jernbeton. Teknisk Forlag, København, 1950.
- 1950 Gravesen, L. Blanketter til betonproportionering og betonkontrol. Beton bind II, Proportionering. DIFs arbejdsgruppe for beton og jernbeton. Teknisk Forlag, København, 1950.
- 1950 Gregersen, B. Jord- og betonlære, Teknologisk Instituts Forlag, København, 1950.

- 1950 Heilmann, T. Beton med luftindblandingsmidler. Beton-Teknik vol. 15, nr. 1. CtO, København, 1949.
- 1950 Hoffmann, O. Forvitring af en jernbetonbygning. Beton og Jernbeton vol. 2, nr. 2. København, 1950.
- 1950 Høyer, K. V. Kontrol med variationer i betonstyrken og kontrollens indflydelse på blandingsforholdet. Beton og Jernbeton vol. 1, nr. 3. København, 1950.
- 1950 Ingerslev, E. Forspændt beton i Belgien. Ingeniøren vol. 59, nr. 2. København, 1950.
- 1950 Jeppesen, A. Armeringsstål, nyere typer og kvaliteter. Beton, materialerne. DIFs arbejdsgruppe for beton og jernbeton. Kursusberetning. København, 1950.
- 1950a Maarbjerg, K. M. Beton af lette aggregater fremstillet på byggepladsen. Beton III, Beton-Arbejdspladsen. DIFs arbejdsgruppe for beton og jernbeton. Teknisk Forlag. København, 1950.
- 1950b Maarbjerg, K. M. Uorganiske aggregater for letbeton og disse betoners egenskaber. Ingeniøren vol. 59, nr. 11. København, 1950.
- 1950 Meulengracht, S. Transport af cement i løs vægt. Beton og Jernbeton vol. 2, nr. 2. København, 1950.
- 1950a Meyer, E. V. Betons hærkning i kulde. Beton-Teknik vol. 16, nr. 1. CtO. København, 1950.
- 1950b Meyer, E. V. Efter- og overfladebehandling af beton. Beton, arbejdspladsen. DIFs arbejdsgruppe for beton og jernbeton. Kursusberetning. København, 1950.
- 1950c Meyer, E. V. Farvet beton. Ingeniøren vol. 59, nr. 37. København, 1950.
- 1950d Meyer, E. V. Levering af cement i løs vægt. Ingeniøren vol. 59, nr. 24. København, 1950.
- 1950e Meyer, E. V. mfl. Kommentarer til DIFs normer for beton- og jernbetonkonstruktioner af 1949. Teknisk Forlag. København, 1950.
- 1950f Meyer, E. V. mfl. Kommentarer til DS 411. Beton og Jernbeton vol. 2, nr. 1. København, 1950.
- 1950g Meyer, E. V. Ny vejledning i opførelse af siloer. Beton-Teknik vol. 16, nr. 4. CtO. København, 1950.
- 1950h Meyer, E. V. Valg og sammensætning af betonmaterialer. Beton, proportionering. DIFs arbejdsgruppe for beton og jernbeton. Kursusberetning. København, 1950.
- 1950a Nerenst, P. mfl. Støbning af simple betonkonstruktioner om vinteren. SBI-særtryk 15. SBI. København, 1950.
- 1950b Nerenst, P. Valg af cement ved betonstøbning om vinteren. Ingeniøren vol. 59, nr. 7. København, 1950.
- 1950 Ostenfeld, C. mfl. Forspændte betonkonstruktioner i Danmark samt nogle arbejder til Sverige og Finland. Beton-Teknik vol. 16, nr. 1. CtO. København, 1950.

- 1950 Paulli, H. Betons egenskaber og anvendelsesområder. Beton I, Materialerne. DIFs arbejdsgruppe for beton og jernbeton. Teknisk Forlag, København, 1950.
- 1950a Plum, N. M. Betonarbejdsgruppens diskussionsmøde om de nye jernbetonnormer DS 411. Ingeniøren vol. 59, nr. 25. København, 1950.
- 1950b Plum, N. M. Betonegenskabernes afhængighed af materialernes sammensætning og disses indbyrdes afhængighed. Beton, proportionering. København, 1950.
- 1950c Plum, N. M. Betonegenskabernes afhængighed af materialernes sammensætning. SBI-særtryk 9. SBI. København, 1950.
- 1950d Plum, N. M. Ensartetheden af de grussorter, der anvendes til betonstøbning i Københavnsområdet. Beton-Teknik vol. 16, nr. 3. CtO, København, 1950.
- 1950e Plum, N. M. Er vore bygninger rationelt dimensionerede, når hensyn tages til såvel anlægs- som driftsomkostninger? Ingeniøren vol. 59, nr. 22. København, 1950.
- 1950f Plum, N. M. mfl. Betonproportionering. Beton II, Betonproportionering. DIFs arbejdsgruppe for beton og jernbeton. Teknisk Forlag, København, 1950.
- 1950g Plum, N. M. Normernes område og prøvningsresultaternes bedømmelse. Beton og Jernbeton vol. 2, nr. 1. København, 1950.
- 1950h Plum, N. M. Om visse grundprincipper vedrørende prøvning af byggematerialer med særlig henblik på betonprøvningen. SBI-studie 4. SBI. København, 1950.
- 1950i Plum, N. M. The Predetermination of Water Requirement and Optimum Grading of Concrete under Various Conditions. SBI-studie 3. SBI. København, 1950.
- 1950 Pontoppidan, J. A. Hulblokke af beton og tegl. Beton og Jernbeton vol. 2, nr. 3. København, 1950.
- 1950a Rambøll, B. J. Beton udstøbt i kulde. Laboratoriet for Byggeteknik, beretning for 1949. København, 1950.
- 1950b Rambøll, B. J. Betonrørs styrke. Beretning for Laboratoriet for Byggeteknik 1949/50. Teknisk Forlag. København, 1950.
- 1950c Rambøll, B. J. mfl. Bygningstekniske måleapparater og målemetoder. København, 1950.
- 1950 Rastrup, E. Om betydningen af hurtig tildækning af beton støbt om vinteren. Ingeniøren vol. 59, nr. 2. København, 1950.
- 1950 SBI. Vinterbyggeriets ABC. SBI-anvisning 9. SBI. København, 1950.
- 1950 Skjoldborg, P. Cement- og betonkemi. Beton, materialerne. DIFs arbejdsgruppe for beton og jernbeton. Kursusberetning. København, 1950.
- 1950 Tvede, J. Formgivningen og dens pionerer inden for jernbetonbyggeriet. Beton-Teknik vol. 16, nr. 2. CtO. København, 1950.
- 1951 Andersen, J. mfl. Testing of eleven Danish concrete mixers. SBI-rapport 4. SBI. København, 1951.
- 1951 Andersen, L. Nye ensilagesiloers beskyttelse mod syreangreb. Dansk Landbrug nr. 34 og SBI-særtryk 25. København, 1951.

- 1951 Andersen, M. F. Materialerne til forspændt beton. Beton og Jernbeton vol. 3, nr. 2-3. København, 1951.
- 1951 Andersen, P. R. Kraftfordelingen i krumme kabler. Beton og Jernbeton vol. 3, nr. 2-3. København, 1951.
- 1951 Becher, P. mfl. Fugt og isolering. SBI-anvisning 7. København, 1951.
- 1951 Bjuggren, U. Strångbetong. DIFs kursus, forspændt beton. Kursusberetning. København, 1951.
- 1951 Bollerup, J. Hvad er forskellen på en fritfaldsblander og en tvangsblender? Byggeindustrien vol. 2, nr. 5. København, 1951.
- 1951 CtO. Beskadigelse af beton med afdækning af rissække. Beton-Teknik vol. 17, nr. 1. CtO. København, 1951.
- 1951 Djurhus, A. Istandsættelse af Hanstholm havns vestmole. Ingeniøren vol. 60, nr. 20. København, 1951.
- 1951 Gade, Aa. Fritbærende trappe i gul jernbeton. Beton-Teknik vol. 17, nr. 2. København, 1951.
- 1951 Glarbo, O. Nogle kommentarer til kommentarer til DIFs normer for beton- og jernbetonkonstruktioner af 1949. Beton og Jernbeton vol. 3, nr. 4. København, 1951.
- 1951 Groth-Andersen, H. Skader på gårdbelægning af beton. Beton-Teknik vol. 17, nr. 4. CtO. København, 1951.
- 1951 Hansen, P. Brugen af færdigstøbte elementer ved industribyggeri. Beton-Teknik vol. 17, nr. 3. København, 1951.
- 1951 Højgaard & Schultz. Fabrik for betonprodukter. Ingeniøren vol. 60, nr. 38. København, 1951.
- 1951 Holck, O. Forspændt beton. Byggeindustrien vol. 2, nr. 6. København, 1951.
- 1951 Hveem, F.N. Brev til P. Nerenst, SBI. 1951-12-13. SBI F-76. Det Kgl. Bibliotek. København 1951.
- 1951 Idorn, G. M. Anvendelse af pumpebeton ved Hanstholm. Beton-Teknik vol. 17, nr. 2. CtO. København, 1951.
- 1951 Jørgensen, F. Moderne maskiner og metoder for fremstilling af betonrør. Beton-Teknik vol. 17, nr. 4. København, 1951.
- 1951 Jørgensen, J. Fabrikshal af færdigstøbte elementer. Beton og Jernbeton vol. 3, nr. 4. København, 1951.
- 1951 Kalhauge, E. Forspændt betons anvendelsesmuligheder. DIFs kursus, forspændt beton. Kursusberetning. København, 1951.
- 1951 Krarup, N. H. mfl. Brug og valg af betonblandere. SBI-anvisning 8. SBI. København, 1951.
- 1951 Lamm, A. R. Kontrol med betonfremstilling. Beton og Jernbeton vol. 3, nr. 1. København, 1951.
- 1951 Larsen, A. R. Konstruktioners udførelse efter forskellige forspændingssystemer, praktiske erfaringer og økonomi. DIFs kursus, forspændt beton. Kursusberetning. København, 1951.

- 1951 Lundsgaard, E. Om udførelse af betonstøbning under vand. Ingeniøren vol. 60, nr. 6. København, 1951.
- 1951 Mather, B. Brev til P. Nerenst., SBI. 1951-12-29. SBI F-76. Det Kgl. Bibliotek. København 1951.
- 1951a Meyer, E. V. Godt betonarbejde. DIFs arbejdsgruppe for beton og jernbeton. København, 1951.
- 1951b Meyer, E. V. Isoleringsproblemet i Danmark. Ingeniøren vol. 60, nr. 23. København, 1951.
- 1951 Meyer, M. Aalborg Portland-Cement-Fabrik. Siloanlæg i Københavns Sydhavn. DIFs kursus, forspændt beton. Kursusberetning. København, 1951.
- 1951 Moe, A. J. I hvilken klasse skal man vælge et bygværk af beton eller jernbeton? Beton og Jernbeton vol. 3, nr. 4. København, 1951.
- 1951 Nerenst, P. Betonteknologiske Studier i USA. Rapport over ECA-studierejse nov.-feb. 1951. Rejserapport, SBI F-76. Det Kgl. Bibliotek. København 1951.
- 1951 Nielsen, J. Armeringens forankringskræfter i strengbetonkonstruktioner. Beton og Jernbeton vol. 3, nr. 2-3. København, 1951.
- 1951 Ørum, P. P. Fabriksfremstillede sålbænke af strengbeton. Byggeindustrien vol. 2, nr. 5. København, 1951.
- 1951a Plum, N. M. Indlæg i radiodiskussionen om vinterbyggeri 16.12.50. Murermenteren nr. 7. København, 1951.
- 1951b Plum, N. M. Prøvning af 11 danske betonblandere. Beton og Jernbeton vol. 3, nr. 1. København, 1951.
- 1951c Plum, N. M. Rationalisering af arbejdsteknikken i boligbyggeriet. SBI-særtryk 19. SBI, København, 1951.
- 1951d Plum, N. M. Vinterbyggeri. Forsøg afholdt af Statens Byggeforskningsinstitut i årene 1947-50. SBI-rapport 6. SBI. København, 1951.
- 1952 Beton og Jernbeton. Betontilsyn. Beton og Jernbeton vol. 4, nr. 5. København, 1952.
- 1952 DIF. Retningslinier for fremstilling af vibreret beton. 1. udgave 1952. Dansk Ingeniørforening. København, 1952.
- 1952 Falster, J. Vandtårn i Korsør. Beton og Jernbeton vol. 4, nr. 4. København, 1952.
- 1952 Glarbo, O. Betonkursus for arbejdere 1951-52. Beton og Jernbeton vol. 4, nr. 3. København, 1952.
- 1952 Gravesen, L. Chockbeton i dansk byggeri. Ingeniøren vol. 61, nr. 46. København, 1952.
- 1952 Groth-Andersen, H. Ødelagte altaner. Beton-Teknik vol. 18, nr. 3. CtO. København, 1952.
- 1952 Holst, U. J. Beskyttelse mod atombombeeksplosioner. Beton-Teknik vol. 18, nr. 4. CtO. København, 1952.



- 1952 Idorn, G. M. Om vandtætte betonoverflader og støbeskel. Beton-Teknik vol. 18, nr. 3. CtO. København, 1952.
- 1952 Ipsen, J. Strengbeton. Beton-Teknik vol. 18, nr. 2. CtO. København, 1952.
- 1952a Jørgensen, J. Færdigstøbte betonelementer i byggeriet. Ingeniøren vol. 61, nr. 5. København, 1952.
- 1952b Jørgensen, J. Hvilken type dæk skal jeg vælge? Byggeindustrien vol. 3, nr. 7. København, 1952.
- 1952 Kjær, B. mfl. Støbte gulvbelægninger. Byggeindustrien vol. 3, nr. 7. København, 1952.
- 1952 Larsen, Aa. En sammenligning af jernbetonnormerne i forskellige lande. Beton og Jernbeton vol. 4, nr. 1. København, 1952.
- 1952 Lauersen, E. Ensilagesiloers beskyttelse mod syreangreb. 1. og 2. undersøgelse. Dansk Landbrug. SBI-særtryk 25, 31 og 39. København, 1952.
- 1952 Lyse, I. Plastiske deformationer i uarmeret og armeret beton. Beton og Jernbeton vol. 4, nr. 2. København, 1952.
- 1952 Manniche, N. J. Traditionelle og nye byggemetoder ved opførelse af svejsehal og kedelsmedie for Burmeister & Wain, Refshaleøen. Ingeniøren vol. 61, nr. 22. København, 1952.
- 1952a Meyer, E. V. Anvendelse af befugtningsmidler i beton. Ingeniøren vol. 61, nr. 2. København, 1952.
- 1952b Meyer, E. V. Klinkerbeton. Beton-Teknik vol. 18, nr. 3. CtO, København, 1952.
- 1952c Meyer, E. V. Meyers luftmåleapparat. Beton og Jernbeton vol. 4, nr. 3. København, 1952.
- 1952d Meyer, E. V. mfl. Gamle jernbetonbygværker i Odense. Beton-Teknik vol. 18, nr. 3. CtO. København, 1952.
- 1952e Meyer, E. V. Reparation og vedligeholdelse af betonveje. Beton-Teknik vol. 18, nr. 1. CtO. København, 1952.
- 1952 Meyer, M. Aktieselskabet Aalborg Portland Cementfabriks siloanlæg på Sluseholmen. Ingeniøren vol. 61, nr. 6. København, 1952.
- 1952 Moe, A. J. mfl. Nogle kommentarer (til normer). Beton og Jernbeton vol. 4, nr. 1. København, 1952.
- 1952a Nerenst, P. Betontekniske studier i USA. SBI-studie 7. SBI. København, 1952.
- 1952b Nerenst, P. Grusets indflydelse på betonens holdbarhed. Beton-Teknik vol. 18, nr. 1. CtO. København, 1952.
- 1952 Nielsen, F. Valg af dæk. SBI-anvisning 12. SBI. København, 1952.
- 1952a Ostfeld, C. mfl. Forsøg med forspændt beton. Teknisk Forlag. København, 1952.
- 1952b Ostfeld, C. mfl. Kabelbeton. Stads- og Havneingeniøren vol. 43, nr. 2. København, 1952.

- 1952a Plum, N. M. Dæk og huse. SBI-rapport 7. SBI. København, 1952.
- 1952b Plum, N. M. Hvilken murstens- og blokstørrelse kræver mindst arbejdstid ved opmuringen? SBI-studie 9. SBI, København, 1952.
- 1952 Rinaldi, G. Vindeltrappe af forspændt beton. Beton og Jernbeton vol. 4, nr. 4. København, 1952.
- 1952 Røder, C. F. Nye metoder med transport og distribuering af cement. Ingeniør- og Bygningsvæsen vol. 47, nr. 5. København, 1952.
- 1952 Simonsen, W. R. Støbning af betonvægge uden forskalling. Byggeindustrien vol. 3, nr. 2. København, 1952.
- 1952 Skjoldborg, P. Specialcementer. Beton og Jernbeton vol. 4, nr. 1. København, 1952.
- 1952 Ussing, V. Et moderne industribyggeri. Ingeniøren vol. 61, nr. 50. København, 1952.
- 1952 Zachariassen, J. A. Støbning af prøvelegemer for vibreret beton. Beton og Jernbeton vol. 4, nr. 2. København, 1952.
- 1953 Andersen, J. mfl. Undersøgelse af brandskadet beton ved måling af lyd hastighed. Beton og Jernbeton vol. 5, nr. 4. København, 1953.
- 1953 ATV. Beretning fra betonslidudvalget. ATV-beretning nr. 19. København, 1953.
- 1953 CtO. Om prefabrikerede betonelementer. Specialnummer. Beton-Teknik årg. 19, nr. 1. CtO. København, 1953.
- 1953a Dührkop, H. Aktiveret murermørtel. Byggeindustrien vol. 4, nr. 1. København, 1953.
- 1953b Dührkop, H. Mørteltilsætningsstoffer til brug ved vinterbyggeri. SBI-rapport 11. SBI. København, 1953.
- 1953 Glarbo, O. En enkel betonproportionering. Beton-Teknik 1953, nr. 3. CtO. København, 1953.
- 1953a Gravesen, L. Fabriksfremstillede bygningsdele af Chockbeton. Beton og Jernbeton vol. 5, nr. 2. København, 1953.
- 1953b Gravesen, L. Fabriksstillede bygningsdele af Chockbeton. Beton-Teknik vol. 19, nr. 1. CtO. København, 1953.
- 1953 Harhoff-Nielsen, E. Vinterbyggeri på Bellahøj 1951-52, en økonomisk betragtning. Byggeindustrien vol. 4, nr. 3. København, 1953.
- 1953 Holst, U. J. Betonprøvehammeren. Beton og Jernbeton vol. 5, nr. 5. København, 1953.
- 1953 Husted, O. mfl. Kombineret tunnelering og gennempresning. Ingeniøren vol. 62, nr. 4. København, 1953.
- 1953 Idorn, G. M. Anvendelse af luftindblandingsmidler ved Hanstholms havns vestmole i 1951. Beton og Jernbeton vol. 5, nr. 5. København, 1953.
- 1953a Ipsen, J. Strengbeton. Beton og Jernbeton vol. 5, nr. 2. København, 1953.

- 1953b Ipsen, J. Strengbeton. Beton-Teknik vol. 19, nr. 1. CtO. København, 1953.
- 1953 Kircheiner, C. C. Færdigstøbte betonelementer. Beton og Jernbeton vol. 5, nr. 2. København, 1953.
- 1953 Kjær-Petersen, K. Forundersøgelse ved og istandsættelse af en kajindfatning i Vestindien. Ingeniøren vol. 62, nr. 13. København, 1953.
- 1953 Larsen, A. R. Monterbare betonelementer i bolig- og industribyggeri. Beton og Jernbeton vol. 5, nr. 2. København, 1953.
- 1953 Lundsgaard, H. Om jernbetons forhold under og efter brand. Beton og Jernbeton vol. 5, nr. 3. København, 1953.
- 1953 Malmstrøm, P. E. Prefabrikerede betonkonstruktioner og elementer. Byggeindustrien vol. 4, nr. 14. København, 1953
- 1953 Meyer, E. V. Cementmørtlen i kabelgange i forspændte betonbjælker. Beton-Teknik vol. 19, nr. 2. CtO. København, 1953.
- 1953 Møller, S. mfl. Byggemyndighedernes erfaringer med nye byggemetoder. Byggeindustrien, nr. 22 og 23. København, 1953.
- 1953 Nerenst, P. mfl. Betonstøbning om vinteren. SBI-anvisning 17. SBI. København, 1953.
- 1953 Nielsen, K. E. C. Pudsfri beton. Beton-Teknik årg. 19, nr. 2. CtO. København, 1953.
- 1953a Ostenfeld, C. mfl. De forspændte konstruktioner i den nye universitetsbygning i Helsingfors. Ingeniøren vol. 42, side 754. København, 1953.
- 1953b Ostenfeld, C. mfl. Standardiserede typebroer af strengbetonbjælker. Stads- og Havneingeniøren vol. 44, nr. 11. København, 1953.
- 1953c Ostenfeld, C. mfl. Vandbeholdere i forspændt beton. Ingeniøren vol. 62, nr. 6. København, 1953.
- 1953a Plum, N. M. Beton-rapport-blanketter. Beton og Jernbeton vol. 5, nr. 4. København, 1953.
- 1953b Plum, N. M. Betonkontrol. Beton og Jernbeton vol. 5, nr. 1. København, 1953.
- 1953c Plum, N. M. Langtidsstudier af betons holdbarhed. Beton og Jernbeton vol. 5, nr. 5. København, 1953.
- 1953d Plum, N. M. Maling af eternit. Byggeindustrien vol. 4, nr. 2. København, 1953.
- 1953 Rasmussen, H. Kallton-systemet. Beton og Jernbeton vol. 5, nr. 2. København, 1953.
- 1953 Rinaldi, G. Bjælkebro af forspændt beton. Beton og Jernbeton vol. 5, nr. 1. København, 1953.
- 1953 SBI. Vinterbyggeri. SBI-anvisning 23. SBI. København, 1953.
- 1953 Simonsen, W. R. Byggerationalisering, dens mål og midler. Byggeindustrien vol. 4, nr. 13. København, 1953.
- 1953 Suenson, E. Betons holdbarhed. Byggeindustrien vol. 4, nr. 23. København, 1953.

- 1953 Vistesen, P. C. Vandtårn i armeret beton. Beton-Teknik vol. 19, nr. 3. CtO. København, 1953.
- 1953 Winkel, C. T. Rørgennempresning ved Østre Kraftvarmeværk. Ingeniøren vol. 62, nr. 22. København, 1953.
- 1953 Winkelmann, H. Brandprøvning med et jernbetondæk. Beton og Jernbeton vol. 5, nr. 4. København, 1953.
- 1953 Wulff, O. Forsvarets elementbyggeri. Ingeniøren vol. 62, nr. 9. København, 1953.
- 1954 Christensen, J. Fuger og støbeskel. Ingeniøren vol. 63, nr. 20. København, 1954.
- 1954 DIF. Foreløbige retningslinier for fremstilling af luftindblandet beton. København, 1954.
- 1954 Dyrberg, K. Murerbogen. Teknologisk Instituts Forlag. København, 1954.
- 1954 Efsen, A. Armeringsstål med høj flydegrænse. SBI-studie 13. SBI. København, 1954.
- 1954 Heerwagen, K. Reparation af ødelagte altaner. Beton-Teknik årg. 20, nr. 3. CtO. København, 1954.
- 1954 Holst-Jensen, M. Nogle erfaringer ved anvendelse af Meyers luftmåleapparat. Beton-Teknik årg. 20, nr. 1. CtO. København, 1954.
- 1954 Knuth-Winterfeldt, E. Korrosionsårsager og skadetyper. Ingeniøren 1954 nr. 16. København 1954.
- 1954a Meyer, E. V. Super-Rapid-beton. Beton-Teknik årg. 20, nr. 4. CtO. København, 1954.
- 1954b Meyer, E. V. Udførelse af betonoverflader med hvid Portland-cement. Beton-Teknik vol. 20, nr. 1. København, 1954.
- 1954 Mortensen, A. Havnens rustproblemer. Ingeniøren 1954 nr. 14. København 1954.
- 1954 Nerenst, P. mfl. Sandfri beton. SBI-særtryk 41 (Beton og Jernbeton, nr. 2, 1954). København, 1954.
- 1954 Nielsen, P.-H. Vacuum-beton. Beton-Teknik årg. 20, nr. 4. CtO. København, 1954.
- 1954 Rastrup, E. Carlsberg Bryggeriernes nye tappehal og lagerbygning. Beton-Teknik årg. 20, nr. 2. CtO. København, 1954.
- 1954 Suenson, E. Betontekniske fagudtryk. Teknisk Forlag. København, 1954.
- 1955 Arctander, P. Byggeriet kan industrialiseres. SBI-særtryk 62 (Byggeindustrien nr. 15, 1955). SBI. København, 1955.
- 1955 Arup, H. Katodisk beskyttelse. Ingeniøren 1955 nr. 2 og 23. København 1955.
- 1955 Bang Petersen, C. A. Siliconer i bygningsindustrien. Beton-Teknik årg. 21, nr. 1. CtO. København, 1955.
- 1955 Heerwagen, K. Cempexo og Kromol. Beton-Teknik årg. 21, nr. 4. CtO. København, 1955.
- 1955 Krenchel, H. Vaskning af sand til betonfremstilling. Beton-Teknik årg. 21, nr. 2. CtO. København, 1955.

- 1955 Larsen, S. Jernbetonskorstene gennem 50 år. Beton-Teknik årg. 21, nr. 1. CtO. København, 1955.
- 1955a Meyer, E. V. Elementhusbyggeri i Danmark. Beton-Teknik årg. 21, nr. 4. CtO. København, 1955.
- 1955b Meyer, E. V. En ny dansk alkali-resistent cement. Beton-Teknik årg. 21, nr. 1. CtO. København, 1955.
- 1955c Meyer, E. V. Gummimentmørtel. Beton-Teknik årg. 21, nr. 3. CtO. København, 1955.
- 1955d Meyer, E. V. Luftindblandet beton. Beton-Teknik årg. 21, nr. 3. CtO. København, 1955.
- 1955e Meyer, E. V. Luftindblandet beton. Revideret 1964. SBI-anvisning 33. SBI. København, 1955.
- 1955a Nerenst, P. mfl. SBI betonberegner. SBI-anvisning 29. SBI. København, 1955.
- 1955b Nerenst, P. mfl. SBI-betonberegner. SBI-særtryk 55 (Byggeindustrien nr. 1, 1955). København, 1955.
- 1955 Plum, N. M. Betonmaterialer med diskontinuerte kornkurver. SBI-særtryk 54 (Beton og Jernbeton nr. 3, 1954). København, 1954.
- 1955 Rambøll, B. J. Rationelt byggeri. Teknisk Forlag. København, 1955.
- 1955 Rastrup, E. Betons hærdningsvarme. SBI-særtryk 49 (Beton og Jernbeton nr. 1, 1955). SBI. København, 1955.
- 1955a SBI. Bellahøjhusbyggeri. SBI-studie 15. SBI. København, 1955.
- 1955b SBI. Symposium on Mix Design and Quality Control of Concrete, London, May 1954. Bearbejdet dansk oversættelse af 5 indlæg. SBI-særtryk 60 (Beton og Jernbeton nr. 3, 1955). SBI. København, 1955.
- 1956 Andersen, I. Portland-cement-beton i havvand. Beton-Teknik årg. 22, nr. 1. CtO. København, 1956.
- 1956 Bredsdorff, P. mfl. Prøvning af tre kontinuerlige betonblandere. SBI-rapport 14. SBI. København, 1956.
- 1956 Brink Nielsen, A. Er det altid forsvarligt at omstøbe stålkonstruktioner? Ingeniøren 1956 nr. 48. København 1956,
- 1956 Forum, C. S. mfl. De sidste 6 højhuse på Bellahøj. Beton-Teknik årg. 22, nr. 1. CtO. København, 1956.
- 1956 Groth-Andersen, H. Polyvinylacetat til beton. Beton-Teknik årg. 22, nr. 2. CtO. København, 1956.
- 1956 Gylling, T. Ocrat-Beton. Beton-Teknik årg. 22, nr. 2. CtO. København, 1956.
- 1956a Idorn, G. M. Disintegration of Field Concrete. ATV/SBI Progress Report N 1. SBI. København, 1956.
- 1956b Idorn, G. M. Rationel Betonkontrol. Beton-Teknik årg. 22, nr. 4. CtO. København, 1956.

- 1956a Landbo, J. Nogle træk af betons rheologi. SBI-særtryk 71 (Beton og Jernbeton nr. 1, 1956). SBI. København, 1956.
- 1956b Landbo, J. Prøvning af tre kontinuerlige betonblandere. SBI-særtryk 83 (Beton og Jernbeton nr. 4, 1956). SBI. København, 1956.
- 1956 Meyer, E. V. Sprits indflydelse på beton. Beton-Teknik årg. 22, nr. 2. CtO. København, 1956.
- 1956 Nerenst, P. mfl. Erfaringer fra betonkontrol ved jyske flyvepladser. SBI-særtryk 80 (Beton og Jernbeton nr. 3, 1956). SBI. København, 1956.
- 1956 Nielsen, K. E. C. Polyvinylacetat til beton - vandbestandighed. Beton-Teknik årg. 22, nr. 4. CtO. København, 1956.
- 1956 Rastrup, E. Beregning af temperaturforløbet i hulstensdæk under hærdning. SBI-særtryk 72 (Beton og Jernbeton nr. 1, 1956). SBI. København, 1956.
- 1956a SBI. Vejledning i betonkontrol. SBI-anvisning 27. SBI. København, 1956.
- 1956b SBI. Winter Concreting. Theory and Practice. RILEM Symposium Copenhagen 1956. SBI. København, 1956.
- 1957 Andreasen, A. H. M. mfl. Investigation of the Effect of Some Pozzolans on Alkali Reactions in Concrete. ATV/SBI Progress Report L 1. SBI. København, 1957.
- 1957 CtO. Fejl og mangler. Beton-Teknik årg. 23, nr. 4. CtO. København, 1957.
- 1957 Gregersen, B. Betonfremstilling. Arbejdsteknisk Skole. København, 1957.
- 1957a Idorn, G. M. Concrete Deterioration of a Foundation. SBI-særtryk 88 (Acta Polytechnica No. 221, vol. 4, No. 3. 1957). SBI. København, 1957.
- 1957b Idorn, G. M. Rationel betonkontrol. SBI-særtryk 85 (Beton og Jernbeton nr. 1, 1957 og Beton-Teknik nr. 4, 1956). SBI. København, 1957.
- 1957 Lorentzen, B. T. Byggefejl. Billedsamling. SBI-anvisning 39. SBI. København, 1957.
- 1957 Nerenst, P. Alment om alkalireaktioner i beton. ATV/SBI Progress Report A1. SBI. København, 1957.
- 1957 Plum, N. M. mfl. Foreløbig oversigt over alkalireaktioner i Danmark. SBI-særtryk 91 (Ingeniøren nr. 27 og 28, 1957). SBI. København, 1957.
- 1957 Rambøll, B. J. Fejl og mangler ved betonelementer i montagebyggeri. SBI-rapport 21. SBI. København, 1957.
- 1957 Tovborg Jørgensen, A. A Classification of Danish Flints etc. Based on X-Ray Diffractometry. ATV/SBI Progress Report D 1. SBI. København, 1957.
- 1958 Arup, H. H. Korrosionsproblemer i byggeriet. SBI-rapport 25. SBI. København, 1958.
- 1958 Gry, H. mfl. Flintforekomster i Danmark. ATV/SBI Progress Report D 2. SBI. København, 1958.
- 1958 Gylling, T. Cementens kvalitet i styrkemæssig henseende. Beton-Teknik årg. 24, nr. 3. CtO. København, 1958.

- 1958 Haulund Christensen, K. E. Evaluation of Alkali Reactions in Concrete by the Chemical Tests. ATV/SBI Progress Report H 1. SBI. København, 1958.
- 1958a Idorn, G. M. Concrete on the West Coast of Jutland. Part I-II. ATV/SBI Progress Report B 1-2. SBI. København, 1958.
- 1958b Idorn, G. M. Grundtræk af betonteknologien, 1. Cement. Polyteknisk Forening. København, 1958.
- 1958 Jeppesen, A. Durability and Maintenance of Concrete Structures on Danish Railways. ATV/SBI Progress Report B 3. SBI. København, 1958.
- 1958 Jessen, J. J. mfl. Gangbroer og gangtunnel i Haderslev Dampark. Beton-Teknik årg. 24, nr. 3. CtO. København, 1958.
- 1958 Jones, F. E. Investigation of Danish Aggregates at Building Research Station. ATV/SBI Progress Report I 1. SBI. København, 1958.
- 1958 Juul, P. Jernbetonpæle. Statistisk vurdering af betonkvalitet. Beton-Teknik årg. 24, nr. 2. CtO. København, 1958.
- 1958 Lichtenberg, S. Betonkontrol med mobilt laboratorium. Beton-Teknik årg. 24, nr. 2. CtO. København, 1958.
- 1958 Meyer, E. V. mfl. The Alkali Content of Danish Cements. A New Danish Alkali-Resistant Cement. Methods for the Determination of Alkalies in Aggregate and Concrete. ATV/SBI Progress Report F 1, 2 & 3. SBI. København, 1958.
- 1958 Nielsen, K. E. C. Betonkontrol. Vurdering af måleresultater. Beton-Teknik årg. 24, nr. 2. CtO. København, 1958.
- 1958 Plum, N. M. mfl. Preliminary Survey of Alkali Reactions in Concrete. SBI-særtryk 94 (Ingeniøren. International Edition No. 1, 1958). SBI. København, 1958.
- 1958 Poulsen, E. Preparation of Samples for Microscopic Investigation. ATV/SBI Progress Report M 1. SBI. København, 1958.
- 1958 SBI. Jernbetondæk i boligbyggeri. SBI-anvisning 41. SBI. København, 1958.
- 1958 Skjoldborg, P. Cements lagringsbestandighed. Beton-Teknik årg. 24, nr. 4. CtO. København, 1958.
- 1958a Trudsø, E. Experiments on Concrete Bars. Freezing and Thawing Tests. ATV/SBI Progress Report K 2. SBI. København, 1958.
- 1958b Trudsø, E. Strålingsbeskyttende beton. SBI-særtryk 96 (Ingeniøren nr. 7, 1958). SBI. København, 1958.
- 1959 DIF. Retningslinier for fremstilling af vibreret beton. 2. udgave 1959. Dansk Ingeniørforening. København, 1959.
- 1959a Idorn, G. M. Betons bestandighed i havvand - den historiske udvikling og den nuværende situation. SBI-særtryk 110 (Nordisk Betong nr. 3, 1959). SBI. København, 1959.
- 1959b Idorn, G. M. Mikroskopiske glimt af betonteknikkens historie. Beton-Teknik årg. 25, nr. 4. CtO. København, 1959.

- 1959c Idorn, G. M. Vand til betonstøbning. Betontekniske synspunkter. Beton-Teknik årg. 25, nr. 2. CtO. København, 1959.
- 1959 Kjær, A. mfl. Metoder til bestemmelse af vands kalciumkarbonatopløsende evne. SBI-særtryk 107 (Ingeniøren, nr. 14, 1959). SBI. København, 1959.
- 1959 Kristensen, E. Jubilæum i gråt eller Den grimme ælling. Beton som facade-materiale. Beton-Teknik årg. 25, nr. 4. CtO. København, 1959.
- 1959 Landbo, J. Om opskydning af klinkergulve. SBI-særtryk 108 (Ingeniøren nr. 15, 1959). SBI. København, 1959.
- 1959a Larsen, G. Grus til betonstøbning. SBI-særtryk 103 (Medd. fra Dansk Geologisk Forening, bd. 14, 1959). SBI. København, 1959.
- 1959b Larsen, G. Petrografisk undersøgelse af betongrus, hvorfor og hvordan. Beton-Teknik årg. 31, nr. 4. CtO. København, 1959.
- 1959 Søndergaard, B. Petrografisk undersøgelse af danske kvartære grusaflejringer. ATV/SBI Progress Report E 1. SBI. København, 1959.
- 1959 Sthyr, V. mfl. 25 års virke inden for Betonteknikken. Beton-Teknik årg. 25, nr. 4. CtO. København, 1959.
- 1959 Trudsø, E. Jerndetector lokaliserer armeringsjern i beton. SBI-særtryk 106 (Ingeniørens Ugeblad nr. 24, 1959). SBI. København, 1959.
- 1960 CtO. Kalciumklorid i beton. Anmeldelse. Beton-Teknik årg. 26, nr. 4. CtO. København, 1960.
- 1960 Efsen, A. mfl. Experiments on Concrete Bars. Expansions During Storage in Climate Room. ATV/SBI Progress Report K 1. SBI. København, 1960.
- 1960 Jørgensen, F. Færdigblandet beton i Skandinavien. Beton-Teknik årg. 26, nr. 4. CtO. København, 1960.
- 1960 Meyer, E. V. Tætningsmidler til beton. Beton-Teknik årg. 26, nr. 1. CtO. København, 1960.
- 1960 Monfore, G.E. mfl. Corrosion of Prestressed Wire in Concrete. ACI Journal vol. 57 nr. 5. USA 1960.
- 1960 Poulsen E. Grussammensætning ved mindste kvadraters metode. Nordisk Beton 1960 nr. Stockholm 1960.
- 1961 Bang Petersen, C. A. Udblomstringer. Beton-Teknik årg. 27, nr. 2. CtO. København, 1961.
- 1961 Christensen, O. Sprøjtebeton. Beton-Teknik årg. 27, nr. 1. CtO. København, 1961.
- 1961 DIF. Norm for betonhulbloksten. 1. udgave 1961. Dansk Ingeniørforening. København, 1961.
- 1961a Groth-Andersen, H. Er vand-cement-tallet overvurderet? Beton-Teknik årg. 27, nr. 3. CtO. København, 1961.
- 1961b Groth-Andersen, H. Superfosfats og kalisuperfosfats indvirkning på beton. Beton-Teknik årg. 27, nr. 4. CtO. København, 1961.



- 1961a Idorn, G. M. Grundtræk af betonteknologien, 5. Kornkurver og grussammen-sætning. Polyteknisk Forening. København, 1961.
- 1961b Idorn, G. M. Grundtræk af betonteknologien, 7. Betonsammensætning. Polytek-nisk Forening. København, 1961.
- 1961c Idorn, G. M. Studies of Disintegrated Concrete. Part I-II. ATV/SBI Progress Report N 2-3. SBI. København, 1961.
- 1961 Jeppesen, A. Vedligeholdelse og istandsættelse af beton- og jernbetonkonstrukto-ner. Alkaliudvalgets vejledning 2. København, 1961.
- 1961a Kjær, A. Danske vandtypers indvirkning på beton. SBI-særtryk 120 (Ingeniøren nr. 4, 1961). København, 1961.
- 1961b Kjær, A. Valg af størrelse for betonblandere. Beton-Teknik årg. 27, nr. 1. CtO. København, 1961.
- 1961 Larsen, K. S. Forspændte betonbeholdere til tung brændselolie. Beton-Teknik årg. 27, nr. 2. CtO. København, 1961.
- 1961 Meinertz Knudsen, A. Hirtshals havn - nyt vestbassin. Beton-Teknik årg. 27, nr. 4. CtO. København, 1961.
- 1961 Meyer, E. V. Hvid cementmørtels tidlige styrker. Beton-Teknik årg. 27, nr. 1. CtO. København, 1961.
- 1961 Münster-Swendsen, P. E. Cempexo med tilsætning af sand. Beton-Teknik årg. 27, nr. 3. CtO. København, 1961.
- 1961 Nielsen, K. E. C. Tung beton til strålingsbeskyttelse. Nogle proportionerings-forsøg. Beton-Teknik årg. 27, nr. 3. CtO. København, 1961.
- 1961 Plum, N. M. Foreløbig vejledning i forebyggelse af skadelige alkalikiselreaktioner i beton. Alkaliudvalgets vejledning 1. ATV/SBI-publikation. SBI. København 1961.
- 1961 Rasmussen, Sv. Aa. Svømmebassiner i forspændt beton. Ingeniøren 1961, nr. 3-4. København, 1961.
- 1961a Skovgaard, P. Alkalikiselreaktionerne - hvor meget ved vi i dag? Beton-Teknik årg. 27, nr. 4. CtO. København, 1961.
- 1961b Skovgaard, P. Temperaturmålinger i svær kajmur. Beton-Teknik årg. 27, nr. 4. CtO. København, 1961.
- 1962 Andersen, P. E. mfl. Drilling of Concrete Cores and Preparation of Thin Sections. SBI-særtryk 123 (RILEM Bulletin, New Series No. 11, 1961). København, 1962.
- 1962 Idorn, G. M. mfl. Beton til fundering. Beton-Teknik årg. 28, nr. 2. CtO. København, 1962.
- 1962 Ingemann, L. mfl. Pontoner af jernbeton. Beton-Teknik årg. 28, nr. 2. CtO. København, 1962.
- 1962a Larsen, G. Danske betongrusmaterialers kornform og kornoverflade. SBI-særtryk 126 (Nordisk Betong nr. 2, 1962). SBI. København, 1962.

- 1962b Larsen, G. Microscopic Point Measuring. A Quantitative Petrographic Method of Determining the  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  Content of the Paste of Cement. SBI-særtryk 122 (Magazine of Concrete Research No. 38, 1961). SBI. København, 1961.
- 1962 Lunn, K. J. Beskyttelse af beton mod tæring i kloakledninger. Beton-Teknik årg. 28, nr. 4. CtO. København, 1962.
- 1962 Malchow-Møller, O. Svovlbrintetæring i beton. Beton-Teknik årg. 28, nr. 4. CtO. København, 1962.
- 1962 Olsen, J. M. Broer på motorvejen Rødbyhavn-Majbølle. Fugleflugtslinien. Beton-Teknik årg. 28, nr. 2. CtO. København, 1962.
- 1962 Wulff, O. Vibreringens teoretiske grundlag. Beton-Teknik årg. 28, nr. 1. CtO. København, 1962.
- 1963 ACI Committee 212. Admixtures for Concrete. ACI Journal vol. 60 nr. 11. USA 1963.
- 1963 Bredsdorff, P. mfl. Chemical Reactions in Concrete Involving Aggregate. SBI-særtryk 128 (Chemistry of Cement. Proceedings of the 4. International Symposium. Washington 1960). SBI. København, 1963.
- 1963 Grebin, G. En afhandling om støbeskel i beton. Beton-Teknik årg. 29, nr. 3. CtO. København, 1963.
- 1963 Groth-Andersen, H. Vinterskader på flisebelægninger. Beton-Teknik årg. 29, nr. 3. CtO. København, 1963.
- 1963 Hoppe, H. Betonfacaderne på TV-byen i Gladsaxe. Beton-Teknik årg. 29, nr. 4. CtO. København, 1963.
- 1963 Kristensen, B. W. Målkontrol af betonelementer. Beton-Teknik årg. 29, nr. 3. CtO. København, 1963.
- 1963a Larsen, G. Cementpastaudludning som forvittringsproces i beton. SBI-særtryk 134. (Nordisk Betong nr. 2, 1963). SBI. København, 1963.
- 1963b Larsen, G. Undersøgelse af flintfattigt grus til beton. SBI-særtryk 132 (Ingeniøren nr. 12, 1963). SBI. København, 1963.
- 1963 Mouritzen, J. Analyse af frisk beton. Beton-Teknik årg. 29, nr. 4. CtO. København, 1963.
- 1963a Nielsen, K. E. C. Deformationer hos vinterbeton. Beton-Teknik årg. 29, nr. 4. CtO. København, 1963.
- 1963b Nielsen, K. E. C. Kan is gnave beton i stykker? Beton-Teknik årg. 29, nr. 3. CtO. København, 1963.
- 1963c Nielsen, K. E. C. Knusning af betonpæle ved ramning. Beton-Teknik årg. 29, nr. 3. CtO. København, 1963.
- 1963a Skovgaard, P. Bøjningstrækstyrker kontra spaltetrækstyrker. Nogle amerikanske forsøg. Beton-Teknik årg. 29, nr. 3. CtO. København, 1963.
- 1963b Skovgaard, P. Damphærdning - metode og virkning. Beton-Teknik årg. 29, nr. 4. CtO. København, 1963.

- 1964a Dylander, B. mfl. Fugeproblemer ved elementbyggede ydervægge. SBI-særtryk 149 (Arkitekten nr. 9, 10 og 25). SBI. København, 1964.
- 1964b Dylander, B. mfl. Metoder til konstatering af revneforløb i betonflader. SBI-særtryk 135 (Nordisk Betong nr. 4, 1963). SBI. København, 1963.
- 1964 Grebin, G. Utætte kælderydervægge. Beton-Teknik årg. 30, nr. 4. CtO. København, 1964.
- 1964 Idorn, G. M. Studies of Disintegrated Concrete. Part III-V. ATV/SBI Progress Report N 4, 5 & 6. SBI. København, 1964.
- 1964 Malinowski, R. Nogle varmhærdningsmetoder. Beton-Teknik årg. 30, nr. 4. CtO. København, 1964.
- 1964 Meyer, E. V. Luftindblandet beton. SBI-anvisning 33. 2. reviderede udgave. SBI. København, 1964.
- 1964a Nielsen, K. E. C. Behøver beton en særlig overfladebehandling? Beton-Teknik årg. 30, nr. 4. CtO. København, 1964.
- 1964b Nielsen, K. E. C. Revner ved afformning af elementer. Beton-Teknik årg. 30, nr. 4. CtO. København, 1964.
- 1964 Rastrup, E. Required Prehardening Time by Freezing in Relation to the Cement Classified in 'Rilem Recommendations for Winter Concreting'. SBI-særtryk 150 (Bulletin RILEM No. 23, 1964). SBI. København, 1964.
- 1964 Trüb, U. Om rå facadebeton - nyt fra forskningen. Beton-Teknik årg. 30, nr. 4. CtO. København, 1964.
- 1965 CtO. Afskalninger på brodæk af beton. Anmeldelse. Beton-Teknik årg. 31, nr. 4. CtO. København, 1965.
- 1965 Dylander, B. mfl. Revnedetektion ved hjælp af fluorescerende partikler - anvendt ved petrografiske analyser af beton. SBI-særtryk 157 (Beton-Teknik nr. 4, 1965). SBI. København, 1965.
- 1965 Hougaard, P. A. Gammel facade bliver ny med murcement. Beton-Teknik årg. 31, nr. 2. CtO. København, 1965.
- 1965 Madsen, A. Lavtryksdamphærdning. Beton-Teknik årg. 31, nr. 3. CtO. København, 1965.
- 1965 Meyer, E. V. mfl. Betonbogen - fra cement til beton. 2. reviderede udgave. CtO. København, 1965.
- 1965 Mouritzen, J. Luftindblandet beton. Hvorfor - hvormeget - hvordan? Beton-Teknik årg. 31, nr. 4. CtO. København, 1965.
- 1965a Skovgaard, P. Accelereret hærdning af beton. Beton-Teknik årg. 31, nr. 2. CtO. København, 1965.
- 1965b Skovgaard, P. Accelereret hærdning af beton. Fysiske, kemiske metoder og deres indvirkning på beton. Beton-Teknik årg. 31, nr. 2. CtO. København, 1965.
- 1965c Skovgaard, P. Aluminium i beton. Beton-Teknik årg. 31, nr. 3. CtO. København, 1965.

- 1965 Stub Jensen, J. Elektrisk hærkning af beton. Beton-Teknik årg. 31, nr. 2. CtO. København, 1965.
- 1965 Trudsø, E. Rustangreb på armeringsjern i beton med calciumchloridtilsætning. Nordisk Betong 1965, nr. 4. Stockholm, 1965.
- 1966 Bache, H.H. mfl. Varmehærkning af beton. Betonforskningslaboratoriet, Karlstrup. Intern rapport nr. 134. Karlstrup 1966.
- 1966 Borregaard, Aa. mfl. Betonkornkurver med partikelspring. Beton-Teknik årg. 32, nr. 1. CtO. København, 1966.
- 1966 Bredsdorff, P. mfl. Experiments on Mortar Bars Prepared with Selected Danish Aggregates. ATV/SBI Progress Report I 2. SBI. København, 1966.
- 1966 Dolch, W. L. Metoder til beskyttelse mod vandindtrængning i beton, I. Beton-Teknik årg. 32, nr. 4. CtO. København, 1966.
- 1966 Entreprenørforeningen. Armering, 1. Produktionstekniske specifikationer. Entreprenørforeningen. København, 1966.
- 1966 Franck, P. mfl. Transport af fabriksbeton. Beton-Teknik årg. 32, nr. 2. CtO. København, 1966.
- 1966 Grebin, G. Udstøbning af vinterbeton. Udstøbning - efterbehandling - afformningstidspunkter. Beton-Teknik årg. 32, nr. 3. CtO. København, 1966.
- 1966 Groth-Andersen, H. Fremstilling af vinterbeton. Varm beton - frostfrit grus - tilsætningsstoffer. Beton-Teknik årg. 32, nr. 3. CtO. København, 1966.
- 1966 Larsen, G. Petrographic Method used in the Study of Leaching of Cement Paste in Concrete. SBI-særtryk 159 (Engineering Geology No. 3, 1966). SBI. København, 1966.
- 1966 Larson, P. E. Hvordan vælger man sin formolie? Beton-Teknik årg. 32, nr. 4. CtO. København, 1966.
- 1966 Mouritzen, J. Proportionering af vinterbeton. Valg af delmaterialer og proportionering. Beton-Teknik årg. 32, nr. 3. CtO. København, 1966.
- 1966a Nielsen, K. E. C. Krav til krav. Beton-Teknik årg. 32, nr. 2. CtO. København, 1966.
- 1966b Nielsen, K. E. C. Vinterbeton er et varmeproblem. Beton-Teknik årg. 32, nr. 3. CtO. København, 1966.
- 1966 Schmidl, J. Anvendelse af plaststoffer i betonbyggeriet. Beton-Teknik årg. 32, nr. 1. CtO. København, 1966.
- 1966a Skovgaard, P. Frysning og optøning af Beton. Anmeldelse. Beton-Teknik årg. 32, nr. 3. CtO. København, 1966.
- 1966b Skovgaard, P. Deterioration, Maintenance and Repair of Structures. Anmeldelse. Beton-Teknik årg. 32, nr. 1. CtO. København, 1966.
- 1966c Skovgaard, P. Vinterbyggeriets hjælpemidler. Beton-Teknik årg. 32, nr. 3. CtO. København, 1966.
- 1967 Andersen, B. Betongulve. Konstruktive synspunkter. Beton-Teknik årg. 33, nr. 3. CtO. København, 1967.

- 1967 BFL. Temperaturbestandighed af beton. Beton-Teknik årg. 33, nr. 4. CtO. København, 1967.
- 1967 Brandt, A. A. Betongulve. Tilsætningsstoffer - Overfladebehandlingsprodukter. Beton-Teknik årg. 33, nr. 3. CtO. København, 1967.
- 1967 Bredsdorff, P. mfl. Experiments on Mortar Bars prepared with a Representative Sample of Danish Aggregates. ATV/SBI Progress Report I 3. SBI. København, 1967.
- 1967 Dolch, W. L. Metoder til beskyttelse mod vandindtrængning i beton, II. Beton-Teknik årg. 33, nr. 1. CtO. København, 1967.
- 1967 Entreprenørforeningen. Armering, 2. Produktionstekniske tegneanvisninger. Entreprenørforeningen. København, 1967.
- 1967 Grebin, G. Betongulve. Udførelsesteknik. Beton-Teknik årg. 33, nr. 3. CtO. København, 1967
- 1967a Groth-Andersen, H. Betongulve. Fejl og skader, årsager, forebyggelse og reparation. Beton-Teknik årg. 33, nr. 3. CtO. København, 1967.
- 1967b Groth-Andersen, H. Betongulve. Terminologi, klassificering og kvalitetskrav. Beton-Teknik årg. 33, nr. 3. CtO. København, 1967.
- 1967a Idorn, G. M. Durability of Concrete Structures in Denmark. Doktorafhandling. København, 1967.
- 1967b Idorn, G. M. Materialeteknologiens betydning for fremtidens byggeri. B-undervisning og forskning 67. Et festskrift i anledning af tiåret for oprettelsen af Danmarks Ingeniørakademi. Lyngby, 1967.
- 1967 Jessing, J. Kriterier for hærdnende betons frostsikkerhed. B-undervisning og forskning 67. Et festskrift i anledning af tiåret for oprettelsen af Danmarks Ingeniørakademi. Lyngby, 1967.
- 1967 Lichtenberg, S. 2-timers kogeprøven runder de 5 år. Beton-Teknik årg. 33, nr. 4. CtO. København, 1967.
- 1967 Malmstrøm, P. E. Boligbyggeriet og forskningen. B-undervisning og forskning 67. Et festskrift i anledning af tiåret for oprettelsen af Danmarks Ingeniørakademi. Lyngby, 1967.
- 1967 Nymølle Betonvarefabrik. De fine gruspartiklers betydning for betonoverfladers udseende. Beton-Teknik årg. 33, nr. 2. CtO. København, 1967.
- 1967 Rasmussen, E. Betongulve. Krav til projektet og dets fortolkning. Beton-Teknik årg. 33, nr. 3. CtO. København, 1967.
- 1967 Skovgaard, P. Gode råd om facadebeton. Beton-Teknik årg. 33, nr. 1. CtO. København, 1967.
- 1968 Andersen, V. M. mfl. Vandbygning III. Havnebygning og kystsikring. Den private Ingeniørfond, DTH 1968.
- 1968 Bornebusch, G. Holbæk Seminarium. Beton-Teknik årg. 34, nr. 1. CtO. København, 1968.

- 1968 DIF. Kommentarer. Forslag til Norm for beton- og jernkonstruktioner. Materialer og udførelse. DIF's Normsekretariat, upubliceret. København 1968.
- 1968 Friis, K. Hotelbyggeri i rå beton. Beton-Teknik årg. 34, nr. 1. CtO. København, 1968.
- 1968 Hauch, P. Om betonarbejderne ved Hotel Stavrbyskov. Beton-Teknik årg. 34, nr. 2. CtO. København, 1968.
- 1968 Jessing, J. Beton II. Vinterstøbning, varmhærdning og holdbarhed. DIA-B. Lyngby 1968.
- 1968 Junge, H. mfl. Landbrugets Byggeblade. Ensilagesiloer 2. Store tårnsiloer i jernbeton. SBI-landbrugsbyggeri 27. SBI. København, 1968.
- 1968 Koefoed, B. Fremstilling af facadeelementer. Beton-Teknik årg. 34, nr. 2. CtO. København, 1968.
- 1968 Meyer, A. Investigations on the carbonation of concrete. 5th Int. Symp. on the Chemistry of Cement. Tokyo 1968.
- 1968 Mandrup Andersen, V. mfl. Vandbygning III, havnebygning og kystsikring. DtH. København, 1968.
- 1968 Nørregaard, S. Erfaringer med lignosulfonater som plastificeringsstoffer. Beton-Teknik årg. 34, nr. 1. CtO. København, 1968.
- 1968 Prieme, A. Måling af konsistens af hærdnende cementpasta og -mørtel. Beton-Teknik årg. 34, nr. 2. CtO. København, 1968.
- 1968 Rasmussen, B. Køling af nystøbte klodsfundamenter. Beton-Teknik årg. 34, nr. 2. CtO. København, 1968.
- 1968 Skovgaard, P. Hvornår er beton vandtæt? Beton-Teknik årg. 34, nr. 1. CtO. København, 1968.
- 1968 Wiingaard, M. Om opførelsen af Holbæk Seminarium. Beton-Teknik årg. 34, nr. 1. CtO. København, 1968.
- 1969 Frøsig, M. mfl. BMF-vejviser. Byggematerialeforskningen i Danmark 1970. 2. reviderede udgave 1970. SBI. København, 1969.
- 1969 Herholdt, Aa. D. Kortfattet vejledning i betonproportionering. Polyteknisk Forening. København, 1969.
- 1969 Idorn, G.M. Grundtræk af betonteknologien. 1. Cement. Polyteknisk Forening. København 1969.
- 1969 Kjær, A. Elektrisk opvarmning ved vinterstøbning af beton. SBI-rapport 61. SBI. København, 1969.
- 1970 Andersen, N. E. mfl. Fugtproblemer i terrændæk. SBI-særtryk 205 (Byggeindustrien nr. 8, 1970). København, 1970.
- 1970 Bache, H. H. Exlerbeton. Kursus i praktisk betonteknologi. DIFs efteruddannelse. København, 1970.
- 1970 CtO. Pøse sten i grus til beton. Beton-Teknik 4/10/1970. Aalborg Portland. Aalborg, 1970.

- 1970 Dragsholt, P. Kontrol med fabriksstøbte betonelementer. Kursus i praktisk betontechnologi. DIFs efteruddannelse. København, 1970.
- 1970 Forum Jensen, H. P. Betonfremstilling. Kursus i praktisk betontechnologi. DIFs efteruddannelse. København, 1970.
- 1970 Grebin, G. Betongulvsteknik. Kursus i praktisk betontechnologi. DIFs efteruddannelse. København, 1970.
- 1970 Herholdt, Aa. D. Beton, tilslagsmaterialerne. Polyteknisk Forening. København, 1970.
- 1970 Jessing, J. Vinterstøbning. Kursus i praktisk betontechnologi. DIFs efteruddannelse. København, 1970.
- 1970 Mølkjær Jensen. Portland Cement. Kursus i praktisk betontechnologi. DIFs efteruddannelse. København, 1970.
- 1970 NBK. Betonkonstruktioners sikkerhed. Nordisk Betongkongres 1970. Dansk Betonforening. København, 1970.
- 1970a Nepper-Christensen, P. Betons elasticitetsmodul. Beton-Teknik 3/01/1970. Aalborg Portland. Aalborg, 1970.
- 1970b Nepper-Christensen, P. Om prøvning af borekerner. Beton-Teknik 4/02/1970. Aalborg Portland. Aalborg, 1970.
- 1970 Nørregaard, S. Tilsætninger. DIFs efteruddannelse, kursus i praktisk betontechnologi, hefte 1. DIF. København, 1970.
- 1970 Rubek Hansen, J. Vestforbrænding. Beton-Teknik 6/01/1970. Aalborg Portland. Aalborg, 1970.
- 1970 Trudsø, E. Kontrol på bygningsdele. Kursus i praktisk betontechnologi. DIFs efteruddannelse. København, 1970.
- 1971 Lund Petersen, J. Landbrugets Byggeblade. Beton i landbruget 1. Materialer, blanding, udstøbning. SBI-landbrugsbyggeri 36. SBI. Hørsholm, 1971.
- 1972a CtO. Ferrocement. Beton-Teknik 8/01/1972. Aalborg Portland. Aalborg, 1972.
- 1972b CtO. Hvid betons teknologi. Beton-Teknik 2/01/1972. Aalborg Portland. Aalborg, 1972.
- 1972 Pedersen, E. J. Pumpebeton. Beton-Teknik 6/02/1972. Aalborg Portland. Aalborg, 1972.
- 1972 SBI/ATV. BMF-betænkning. Byggematerialeforskningen i Danmark. SBI. København, 1972.
- 1973a CtO. Betonelementer til landbruget. Beton-Teknik 5/01/1973. Aalborg Portland. Aalborg, 1973.
- 1973b CtO. Swimming Pools. Beton-Teknik 9/06/1973. Aalborg Portland. Aalborg, 1973.
- 1973 DBF. Beton og tørsalte. Dansk Betondag i Horsens. Dansk Betonforening. København, 1973.

- 1973a DIF. Dansk Ingeniørforenings anvisning i brug af tilsætningsstoffer til beton. 1. udgave, februar 1973. Normstyrelsen. København, 1973.
- 1973b DIF. Dansk Ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner. 2. udgave, december 1973, DS 411. Normstyrelsen. København, 1973.
- 1973 Franck, P. Betonen til Bispeengsbuen. Beton-Teknik 2/02/1973. Aalborg Portland. Aalborg, 1973.
- 1973a Kjær, U. mfl. Alkalireaktioner i beton. Beton-Teknik 3/02/1973. Aalborg Portland. Aalborg, 1973.
- 1973b Kjær, U. Vorbeugende Maßnahmen gegen Alkalireaktion im Beton. Beton-Teknik 9/08/1973. Aalborg Portland. Aalborg, 1973.
- 1973 Plum, N.M. Brev til Ph. Arctander, SBI. 1973-09-14. SBI F-76. Det Kgl. Bibliotek. København 1973.
- 1973 Schwartzlose, B. mfl. Gang- og cykelstibro i forspændt exlerbeton. Beton-Teknik 2/03/1973. Aalborg Portland. Aalborg, 1973
- 1973 Terpager Andersen, K. mfl. Landbrugets Byggeblade. Beton i landbruget 2. Betongulve. SBI-landbrugsbyggeri 43. SBI. Hørsholm, 1973.
- 1974a Andersen, N. E. mfl. Fugt og terrændæk. SBI-fugtpjece 6. SBI. Hørsholm, 1974.
- 1974b Andersen, N. E. mfl. Fugt og ydervægge. SBI-fugtpjece 7. SBI. Hørsholm, 1974.
- 1974 CtO. Beton, fra gammel til ny norm. CtO. Aalborg, 1974.
- 1974 Flyndersøe, L. Betonfacader støbt på stedet. Radio-TV hus i Århus. Beton-Teknik 2/04/1974. Aalborg Portland. Aalborg, 1974.
- 1974 Herholdt, Aa. D. Normkrav og statistik. Beton-Teknik 4/13/1974. Aalborg Portland. Aalborg, 1974.
- 1974 Kjær, U. Beton i aggressivt miljø. Beton-Teknik 3/03/1974. Aalborg Portland. Aalborg, 1974.
- 1974 Lyng, O. Vandtæt beton. Med tilføjelsesblad 9/13/1976. Beton-Teknik 3/04/1974. Aalborg Portland. Aalborg, 1974.
- 1974 Sellevold, E.J. Mercury Porosimetry of hardened Cement Paste cured or stored at 97 °C. Cement and Concrete Research 1974 vol. 4. USA 1974.
- 1975 DBF, BEF. Tolerancer for betonelementers hovedmål. Dansk Betonforening og Betonelement-Foreningen. København, 1975.
- 1975 Freiesleben Hansen, P. Matematisk simulering af temperaturfordeling og egenskabsudvikling i hærtnende betonkonstruktioner. NBF seminarium 1975-09-11. DBF. København 1975.
- 1975 Glarbo, O. Beton. Polyteknisk Forlag. Lyngby 1975.
- 1975 Herholdt, Aa.D. Beton og Tøsalte. Nordisk Betong 1975 nr. 1. Stockholm 1975.
- 1975 Kristensen, B. W. Temperaturmåling i beton. Beton-Teknik 4/04/1975. Aalborg Portland. Aalborg, 1975.



- 1975 Münster-Swendsen. Farvet mørtel og beton. Beton-Teknik 2/05/1975. Aalborg Portland. Aalborg, 1975.
- 1975 Nepper-Christensen, P. Plastisk svind. Beton-Teknik 3/05/1975. Aalborg Portland. Aalborg, 1975.
- 1975 Osbæk, B. mfl. Plastificeringsstoffer til beton. Beton-Teknik 1/02/1975. Aalborg Portland. Aalborg, 1975.
- 1975 Pedersen, E.J. Praktiske problemer i forbindelse med temperaturspændinger i hærdnende betonkonstruktioner. NBF seminar 1975-09-11. DBF. København 1975.
- 1975 Petersen, F. Sprøjtebeton. Beton-Teknik 6/03/1975. Aalborg Portland. Aalborg, 1975.
- 1975 Sørensen, E. Beregning af temperaturspændinger i hærdnende betonkonstruktioner. NBF seminarium 1975.09-11. DBF. København 1975.
- 1975 Terpger Andersen, K. mfl. Landbrugets Byggeblade. Ensilagesiloer 3. Plansiloer. SBI-landbrugsbyggeri 48. SBI. Hørsholm, 1975.
- 1976a Arup, H. Den beskyttende virkning af beton på indstøbt jern og forholdet over for andre metaller. Kursusberetning. København, 1976.
- 1976b Arup, H. Korrosionscentralens forsøg med måling af galvanisk korrosion forårsaget af indstøbt jern. Kursusberetning. København, 1976.
- 1976a Bache, H. H. Betons styrke. Beton-Teknik 3/06/1976. Aalborg Portland. Aalborg, 1976.
- 1976b Bache, H. H. mfl. Proportionering af let konstruktionsbeton. Beton-Teknik 2/06/1976. Aalborg Portland. Aalborg, 1976.
- 1976 Christensen, O. Reparation af korrosionsskadet beton. Kursusberetning. København, 1976.
- 1976a CtO. Aluminium - Beton. Beton-Teknik 10/03/1976. Aalborg Portland. Aalborg, 1976.
- 1976b CtO. Betonteknologi. Kursusmateriale for laboranter mfl. Aalborg Portland. Aalborg, 1976.
- 1976c CtO. Hyppige fejl og skader på gulve. Beton-Teknik 10/03/1976. Aalborg Portland. Aalborg, 1976.
- 1976 Groth-Andersen, H. Betonkvalitet og holdbarhed. Kursusberetning. København, 1976.
- 1976 Heide, I. Overfladebehandling som middel til løsning af korrosionsproblemer i forbindelse med armeret beton. Kursusberetning. København, 1976.
- 1976 Jensen, B. C. Beton og brand. ATVs brandgruppe. Glostrup, 1976.
- 1976 Maahn, E. Brug af varmforzinkning på jern til indstøbning. Kursusberetning. København, 1976.
- 1976 Møller, J. Katodisk beskyttelse af jern i beton. Kursusberetning. København, 1976.

- 1976 Ostenfeld, C. Christiani & Nielsen, jernbetonens danske pionerer. Polyteknisk Forlag. Lyngby, 1976.
- 1976 Puckman, K. Cementbundne bærelag/cementstabilisering. Beton-Teknik 6/04/1976. Aalborg, 1976.
- 1976 RILEM. Carbonation of Concrete. International Symposium, C&CA. London, 1976.
- 1976 SBI. Korrosionsforebyggelse i boligbyggeriets konstruktioner. SBI-anvisning 104. SBI. København, 1976.
- 1976 Schubert, P. mfl. The carbonation of mortar and concrete containing fly ash. Rilem international symposium on carbonation of concrete. C&CA. London, 1976.
- 1976 Schwartzlose, B. mfl. Gang- og cykelstibro af hvid beton. Beton-Teknik 2/07/1976. Aalborg Portland. Aalborg, 1976.
- 1976 Thorsen, T. Måling af Powers' afstandsfaktor ved modificeret linear travers metode. Nordisk Betong nr. 1, 1976. Stockholm, 1976.
- 1977 BEF. Vejledning i god vibreringspraksis. Betonelement-Foreningen. København, 1977.
- 1977a DBF. Dansk Betondag 1977. Dansk Betonforening publikation nr. 3. København, 1977.
- 1977b DBF. Seminar om brudmekanik. Dansk Betonforening publikation nr. 6. København, 1977.
- 1977a DIF. Dansk Ingeniørforenings nomenklatur for sand-, grus- og stenmaterialer. 2. udgave, november 1977, DS 404. Normstyrelsen. København, 1977.
- 1977b DIF. Dansk Ingeniørforenings norm for sand-, grus- og stenmaterialer. 2. udgave, november 1977, DS 401. Normstyrelsen. København, 1977.
- 1977 Freiesleben Hansen, P. mfl. Måleinstrument til kontrol af betons hærkning. Nordisk Betong 1977 nr. 1. Stockholm 1977.
- 1977 Grebin, G. mfl. Belægningssten på veje. Beton-Teknik 6/05/1977. Aalborg Portland. Aalborg, 1977.
- 1977 Justesen, C. Statistikken bag den nye betonnorm. Dansk Betonforening publikation nr. 2. København, 1977.
- 1977 KB. Krakeleringer i betonoverflader. Beton-Teknik 10/05/1977. Aalborg Portland. Aalborg, 1977.
- 1977 NC. Om alkaliproblemet. Beton-Teknik 10/05/1977. Aalborg Portland. Aalborg, 1977.
- 1977 Newman, K. The role of ready mixed concrete in the construction industry. Dansk Betonforening publikation nr. 4. København, 1977.
- 1977 Puckman, K. Vakuumbeton. Beton-Teknik 6/06/1977. Aalborg Portland. Aalborg, 1977.
- 1977 Samuelsson, P. Kalkudblomstringer på betonoverflader. Beton-Teknik 3/07/1977. Aalborg Portland. Aalborg, 1977.

- 1977 Sørensen, E. V. mfl. Vejle fjordsbroen. Beregninger af temperaturfordeling og -forløb i overbygningen. CBL intern rapport nr. 5. Aalborg 1977.
- 1977 UK. Frosts indvirkning på betons fysiske og mekaniske egenskaber. Beton-Teknik 10/05/1977. Aalborg Portland. Aalborg, 1977.
- 1978 Aarsleff, L. Belægningsbeton - Luftporestruktur. Beton-Teknik 10/08/1978. Aalborg Portland. Aalborg, 1978.
- 1978 BEF. Transport og montage af betonelementer. Betonelement-Foreningen. København, 1978.
- 1978 CtO. Portlandcement. Revideret udgave 1980. Beton-Teknik 1/01/1978. Aalborg Portland. Aalborg, 1978.
- 1978a DBF. Dansk Betondag 1978. Dansk Betonforening publikation nr. 3. København, 1978.
- 1978b DBF. Prøvningsmetoder for beton. Debatindlæg. Dansk Betonforening publikation nr. 4. København, 1978.
- 1978 Freiesleben Hansen, P. Hærdeteknologi, 1 & 2. Aalborg Portland og BKF-centralen. CtO. Aalborg, 1978.
- 1978 Gudmondsson, H. mfl. Luftporemålinger i hærdnet beton. Nordisk Betong 5:1978. Stockholm, 1978.
- 1978 Hylén, B. mfl. Flydebeton. Dansk Betonforening publikation nr. 2. København, 1978.
- 1978 Justesen, C. Superplastificeringsstoffer (SPT) i beton. Beton-Teknik 1/04/1978. Aalborg Portland. Aalborg, 1978.
- 1978 KiE. Blødt vand, fuger og svømmebassiner. Beton-Teknik 10/07/1978. Aalborg Portland. Aalborg, 1978.
- 1978 Nielsen, A. mfl. Beton i svømmebade. Dansk Betonforening publikation nr. 5. København, 1978.
- 1978 Schultz, H. mfl. Flyveaske og beton. Beton-Teknik 1/03/1978. Aalborg Portland. Aalborg, 1978.
- 1978 VD. Betons holdbarhed, indledende undersøgelser af broer med revneskader. Vejdirektoratet, broafdelingen, rapport nr. 1. København, 1978.
- 1979a Christensen, P. mfl. Struktur- og bestandsanalyse af beton. Nordisk Betong 3: 1979. Stockholm, 1979.
- 1979b Christensen, P. Tilslagsmaterialer til beton - nu og i fremtiden. Landsforeningen DBI, nr. 6. Fredericia, 1979.
- 1979 CtO. Beton-Bogen. Aalborg Portland. Aalborg, 1979.
- 1979 Damgård Jensen, A. Projekter vedrørende undersøgelse og klassifikation af sand og sten til beton. Dansk Betonforening publikation nr. 7. København, 1979.
- 1979 DBF. Dansk Betondag 1979. Dansk Betonforening publikation nr. 7. København, 1979.

- 1979 de Fontenay, C. Betonuddannelserne i Danmark. Dansk Betonforening publikation nr. 6. København, 1979.
- 1979 DIF. Dansk Ingeniørforenings anvisning for konstruktioner af let konstruktionsbeton. 1. udgave, september 1979. Normstyrelsen. København, 1979.
- 1979 Fördös, Z. Fiberarmerede, cementbaserede materialer. Beton-Teknik 1979. Aalborg Portland. Aalborg, 1979.
- 1979 Grønvold, F. O. mfl. Skader på altanplader med indstøbte stålprofiler. BYG-ERFA erfaringsblad 79 11 20. Byggecentrum. København, 1979.
- 1979 Hansen, S. A. Nedbrydning af beton ved sprængning. Dansk Betonforening publikation nr. 8. København, 1979.
- 1979 JM. Luftblærer i betonoverflader. Beton-Teknik 10/10/1979. Aalborg Portland. Aalborg, 1979.
- 1979 Knutsson, H. H. Godkendelses- og kontrolordninger for byggevarer. SBI-anvisning 122. SBI. Hørsholm, 1979.
- 1979 Lauritzen, E. K. Vurdering og imødegåelse af vibrationskader fra sprængningsarbejder, mv. Dansk Betonforening publikation nr. 8. København, 1979.
- 1979 NC. Lavalkali sulfatbestandig cement. Beton-Teknik 10/12/1979. Aalborg Portland. Aalborg, 1979.
- 1979 Tornhøj Christensen, J. Svingningspåvirkning af nabobygværker fra pæleramning. Dansk Betonforening publikation nr. 8. København, 1979.
- 1979 VD. Bro M 30-0066 og M 30-0068. Farøbroerne. Fælles betingelser og beskrivelser. Vejdirektoratet, broafdelingen. København, 1979.
- 1980 Bache, H. H. Cementbundne materialer med ekstrem høj styrke og tæthed. Beton-Teknik 8/03/1980. Aalborg Portland. Aalborg, 1980.
- 1980 Bager, D.H. Ice Formation in Hardened Cement Paste - II. Steam-Cured Pastes with Variable Moisture. Durability of Building Materials and Components. ASTM STP 691. USA 1980.
- 1980 Betongruppen, TI. Saltskader på flisebelægninger af beton. BYG-ERFA erfaringsblad 80 01 22. Byggecentrum. København, 1980.
- 1980 BPS. Renoveringsdetaljer, altaner. BPS-centret. Hørsholm, 1980.
- 1980 Brandt, J. mfl. Løse klinkebeklædninger i svømmebassiner. BYG-ERFA erfaringsblad 80 05 19. Byggecentrum. København, 1980.
- 1980a Damgård Jensen, A. Beton på Færøerne. Byggeteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup, 1980.
- 1980b Damgård Jensen, A. mfl. Undersøgelse og klassifikation af danske sandforekomster. Byggeteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup, 1980.
- 1980 Groth-Andersen, H. Gulve og slidlag af beton. Beton-Teknik 6/07/1980. Aalborg Portland. Aalborg, 1980.
- 1980 Idorn, G. M. The Concrete Future. Dansk Beton Institut. Holte, 1980.

- 1980 Justesen, C. F. Betonproduktion og statistik. Beton-Teknik 4/05/1980. Aalborg Portland. Aalborg, 1980.
- 1980 Milner, P. mfl. Farø broerne. Dansk Betonforening publikation nr. 9. København, 1980.
- 1980 Mohr, G. mfl. Byggeriets kvalitetskontrol. Teknisk Forlag. København, 1980.
- 1980 Thaulow, N. mfl. Vakuumbeton, struktur og luftindhold. Nordisk Betong 4:1980. Stockholm, 1980.
- 1980 Thorup, P. M. Skader på pladsstøbte altangange af jernbeton. BYG-ERFA erfaringsblad 80 05 18. Byggecentrum. København, 1980.
- 1980a VD. Betons holdbarhed, undersøgelse af udvalgte betonbroer. Vejdirektoratet, broafdelingen, rapport nr. 2. København, 1980.
- 1980b VD. Vejregler for eftersyn af bygværker. Vejdirektoratets publikation nr. 8.20.02. Vejdirektoratet. København, 1980.
- 1981 CFJ. Luftporeanalyse, et internationalt sammenlignende forsøg. Beton-Teknik 10/15/1981. Aalborg Portland. Aalborg, 1981.
- 1981 Christensen, P. mfl. Måling og vurdering af hærdnet betons holdbarhed. Dansk Betonforening publikation nr. 10. København, 1981.
- 1981a DBF. Dansk Betondag 1981. Dansk Betonforening publikation nr. 13. København, 1981.
- 1981b DBF. Luftindblanding i beton. Debatindlæg. Dansk Betonforening publikation nr. 14. København, 1981.
- 1981 Djurhuus, M. A. mfl. Nedbrudte betonaltangangelementer. BYG-ERFA erfaringsblad 80 05 18. Byggecentrum. København, 1981.
- 1981 Eriksen, K. mfl. Udsatte betonkonstruktioners holdbarhed. Byggeteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup, 1981.
- 1981 Hagemann, E. Byggematerialer, grundbog. Polyteknisk Forlag. Lyngby, 1981.
- 1981 Hertz, K. Brandpåvirkede betonkonstruktioner. Dansk Betonforening publikation nr. 11. København, 1981.
- 1981 Justesen, C. F. Revner i beton. Beton-Teknik 3/09/1981. Aalborg Portland. Aalborg 1981.
- 1981 NC. Portland-Flyveaske-Cement. Beton-Teknik 10/15/1981. Aalborg Portland. Aalborg, 1981.
- 1981 Neville. A. M. Properties of concrete, 3rd edition. Pitman. London, 1981.
- 1981 Olafsen, H. mfl. Alkali-silica reactivity of sands. Nordtest project report. Byggeteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup, 1981.
- 1981 Puckman, K. Proportionering af konstruktionsbeton efter intervalmetoden. Beton-Teknik 2/08/1981. Aalborg Portland. Aalborg, 1981.
- 1981 Sørensen, B. Korrosion af varmforzinket armeringsjern. Institutet for Metallære. Lyngby, 1981.

- 1981 Sørensen, E. V. Betons hærdevarme. Beton-Teknik 3/10/1981. Aalborg Portland. Aalborg, 1981.
- 1982 Brandt, J. mfl. Løse klinkebeklædninger i svømmebassiner. BYG-ERFA erfaringsblad 82 11 17. Byggecentrum. København, 1982.
- 1982a CFJ. Efterdosering af tilsætningsstoffer på byggepladsen. Beton-Teknik 10/19/1982. Aalborg Portland. Aalborg, 1982.
- 1982b CFJ. Frostprøvning af silicabeton. Beton-Teknik 10/19/1982. Aalborg Portland. Aalborg, 1982.
- 1982c CFJ. Kantelementer af silicabeton. Beton-Teknik 10/19/1982. Aalborg Portland. Aalborg, 1982.
- 1982a Christensen, P. mfl. Densitetssorterede sten. Kvalitetsvurdering af sten fra Katholm Grusgrav. Byggeteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup 1982.
- 1982b Christensen, P. Sten og sand til beton. Revideret 1987. Beton-Teknik 1/05/1982. Aalborg Portland. Aalborg, 1982.
- 1982 Damsager Hansen, N. O. Simple betonreparationer. Vejledning for muremestre/entreprenører/konduktører. SBI publikation Beton 2. SBI. Hørsholm, 1982.
- 1982a DBF. Dansk Betondag 1982. Dansk Betonforening publikation nr. 16. København, 1982.
- 1982b DBF. Plastificering af beton. Debatindlæg. Dansk Betonforening publikation nr. 15. København, 1982.
- 1982 DIF. Dansk Ingeniørforenings norm for lette tilslagsmaterialer. 1. udgave, marts 1982, DS 406. Normstyrelsen. København, 1982.
- 1982 Freiesleben Hansen, P. mfl. Vinterstøbning af beton. SBI-anvisning 125. SBI. Hørsholm, 1982.
- 1982a Hjorth, L. Betonrørs holdbarhed. Beton-Teknik 5/02/1982. Aalborg Portland. Aalborg, 1982.
- 1982b Hjorth, L. Mikrosilica og beton. Beton-Teknik 1/06/1982. Aalborg Portland. Aalborg, 1982.
- 1982 Jensen, S. E. Også beton skal vedligeholdes. SBI publikation Beton 1. SBI. Hørsholm, 1982.
- 1982 JFS. Indstøbning af galvaniserede ståldele i beton. Beton-Teknik 10/19/1982. Aalborg Portland. Aalborg, 1982.
- 1982 Justesen, C. Karbonatisering af beton. Beton-Teknik 3/11/1982. Aalborg Portland. Aalborg, 1982.
- 1982 Kjær, U. Tilsætningsstoffer til beton, en håndbog. BK1. Lyngby, 1982.
- 1982 Sørensen, B. mfl. Penetration Rate of Chloride in Marine Concrete Structures. Nordic Concrete Research 1982 nr. 1. Stockholm 1982.
- 1982 Tuutti, K. Corrosion of steel in concrete. CBI forskning. Fo nr. 4. Stockholm 1982.
- 1983 Andersen, G. Sammensætning og styring af betonkvalitet i praksis. Dansk Betonforening publikation nr. 19. København, 1983.

- 1983 Bredal-Jørgensen, J. mfl. Kvalitetsvurdering af betonbygværker ved proportionering, udførelse, aflevering og reparation. Dansk Institutions Tidsskrift årg. 19 nr. 10.
- 1983 CtO. Portlandcementer. Ny revideret udgave. Beton-Teknik 1/01/1983. Aalborg Portland. Aalborg, 1983.
- 1983 Damsager Hansen, N. O. mfl. Skader på dæklag over armering i beton. BYG-ERFA erfaringsblad 83 05 16. Byggecentrum. København, 1983.
- 1983a DBF. Alkalis in Concrete, Research and Practice. 6th International Conference. Dansk Betonforening. København, 1983.
- 1983b DBF. Dansk Betondag 1983. Dansk Betonforening publikation nr. 18. København, 1983.
- 1983 DIF. Dansk Ingeniørforenings norm for portlandcement og portlandflyveaskecement. 2. udgave, april 1983, DS 427. Normstyrelsen. København, 1983.
- 1983 Hjorth, L. Cement Specifications for Concrete exposed to Chlorides and Sulphates. CEB-RILEM international workshop. ABK/DTH. Lyngby 1983.
- 1983a Justesen, C. F. Betonveje - udformning, udførelse. Beton-Teknik 6/08/1983. Aalborg Portland. Aalborg, 1983.
- 1983b Justesen, C. Tilsætningsstoffer til beton. Beton-Teknik 1/07/1983. Aalborg Portland. Aalborg, 1983.
- 1983 Kjær, A. mfl. Fugemasser og facadefuger. SBI-anvisning 108. SBI. Hørsholm, 1983.
- 1983 Lorentzen, B. T. Fejl og skader ved planlægning, projektering og udførelse. Byggefejlregistrets eksempelsamling, hefte 7 om betonkonstruktioner. Byggefejlregistret. Rødovre, 1983.
- 1983 Mohr, G. Kontrol af små kontrolafsnit. Dansk Betonforening publikation nr. 19. København, 1983.
- 1983 Munch-Petersen, J. F. Vis Vand Væk. Geometriske forholdsregler mod bygnings-skader. Institutet for Husbygning, forelæsningsnotat nr. 65. DtH. Lyngby, 1983.
- 1983 Petersen, S. E. Holdbare svømmebassiner. Dansk Betonforening publikation nr. 17. København, 1983.
- 1983 Poulsen, E. Proportionering af langtidsholdbar beton med indbygget sikkerhed. Dansk Betonforening publikation nr. 19. København, 1983.
- 1983 Puckman, K. Efterbehandling af nystøbt beton. BYG-ERFA erfaringsblad 83 14 15. Byggecentrum. København, 1983.
- 1983 Roger Henriksen, K. Betonproportionering ud fra holdbarhedskrav. Dansk Betonforening publikation nr. 19. København, 1983.
- 1983 Rostam, S. (red). Durability of Concrete Structures. Workshop report. CEB-RILEM international workshop. ABK/DtH. København, 1983.
- 1983 Schiessl, P. Protection of reinforcement. CEB-RILEM international workshop. ABK, DTH. Lyngby, 1983.

- 1983 Schou, J. Måling af betons vandtæthed. Dansk Betonforening publikation nr. 19. København, 1983.
- 1983 Thaulow, N. Jernbetons holdbarhed. Temadag om salt i svømmebade. Dansk Svømmebadsteknisk Forening publikation nr. 13. Tåstrup, 1983.
- 1983 Thorsen, T. Betonproportionering ud fra holdbarhedskrav. Dansk Betonforening publikation nr. 19. København, 1983.
- 1983a TI-O. Diffusionsmodstand mod kuldioxid og vanddamp i materialer, specielt facademalinger. Rapport R 29-83/TI-O. Teknologisk Institut. Tåstrup 1983.
- 1983b TI-O. Overfladers ækvivalente betontykkelse. Rapport R 33-83/TI-O. Teknologisk Institut. Tåstrup 1983.
- 1983a VD. Betons holdbarhed, Ryå-broen. Forsøg med silicabeton. Vejdirektoratet, broafdelingen, rapport nr. 4. København, 1983.
- 1983b VD. Retningslinier for udførelse af betonbelægninger. Statens Vejlaboratorium, laboratorierapport 55. Roskilde, 1983.
- 1983 Voldgift. Kendelse i Voldgiftsag nr. C. Voldgiftsnævnet for Bygge- og Anlægsvirksomhed. København 1983.
- 1984 Andersen, O. V. mfl. Karbonatisering og armeringsdæklag i udsatte betonkonstruktioner. Overfladeteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup, 1984.
- 1984 Bache, H. H. Brudmekanik. Betonteknik 3/12/1984. Aalborg Portland. Aalborg, 1984.
- 1984 Brink Laursen, F. BEK og betons holdbarhed. Dansk Beton årg. 1, nr. 2. Fredericia, 1984.
- 1984 Christensen, O. Almindelige betragtninger om beton og dens egenskaber og holdbarhed. Dansk Beton årg. 1, nr. 2. Fredericia, 1984.
- 1984 CtO. Beton, fra 1973-normen til 1984-normen. CtO. Aalborg, 1984.
- 1984a Damgård Jensen, A. Betonbelægninger i Danmark. Nordisk Betong 1:1984. Stockholm, 1984.
- 1984b Damgård Jensen, A. mfl. Betonbygværkers holdbarhed. Detailkrav til holdbar beton. ATV-udvalget vedrørende betonbygværkers holdbarhed. Byggeteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup, 1984.
- 1984 DBF. Betonelementer - europæisk udvikling. Debatindlæg. Dansk Betonforening publikation nr. 24. København, 1984.
- 1984 DIF. Dansk Ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner. 3. udgave, marts 1984, DS 411. Dansk Ingeniørforening. København, 1984.
- 1984 Dombornovsky, F. mfl. Løse gulvklinker på betonunderlag. BYG-ERFA erfaringsblad 84 12 17. Byggecentrum. København, 1984.
- 1984 Fjellerup, F. E. Genbrug af beton i Kastrup Lufthavn. Dansk Betonforening publikation nr. 20. København, 1984.
- 1984 GG/AaB. Erfaringer med mikrosilica i betonvarer. Beton-Teknik 10/21/1984. Aalborg Portland. Aalborg, 1984.



- 1984 Hansen, T. C. Genbrugsbeton. Dansk Betonforening publikation nr. 20. København, 1984.
- 1984 Hjorth, L. Chloridindtrængning i beton. CtOs informationsdag 1984. Aalborg Portland. Aalborg, 1984.
- 1984 Jensen, Aa. P. mfl. Højstyrkebeton, anvendelser, materialeegenskaber og fremstilling. CtOs Informationsdag 1984. Aalborg Portland. Aalborg, 1984.
- 1984a Justesen, C. Bearbejdighed og konsistens af frisk beton. Dansk Beton årg. 1, nr. 2. Fredericia, 1984.
- 1984b Justesen, C. Betonvejen ved Slangerup. Dansk Beton årg. 1, nr. 2. Fredericia, 1984.
- 1984c Justesen, C. F. Kontrol af betons styrke/sikkerhedsniveau. Beton-Teknik 4/06/1984. Aalborg Portland. Aalborg, 1984.
- 1984 Lauritzen, E. K. Demolering af beton. Dansk Betonforening publikation nr. 20. København, 1984.
- 1984 Mørup, H. Renovering af skadede udendørs betonkonstruktioner. Byggeindustrien 6/7. København, 1984.
- 1984 Munch-Petersen, C. Detailkrav til holdbar beton. Dansk Beton årg. 1, nr. 2. Fredericia, 1984.
- 1984 NC. Nystøbt beton skal tildækkes! Beton-Teknik 10/21/1984. Aalborg Portland. Aalborg, 1984.
- 1984a Poulsen, E. Beton til aggressive miljøer. Hvor meget cement skal der i? Dansk Beton årg. 1, nr. 1. Fredericia, 1984.
- 1984b Poulsen, E. Kvalitetsregistrering af nystøbt, skadet og repareret beton. Håndbog for Bygningsindustrien, HFB 24. København 1984.
- 1984 Puckman, K. Eftersyn af beton. SBI publikation Beton 3. SBI. Hørsholm, 1984.
- 1984 Rasmussen, T. H. Langtidsforsøg vedrørende holdbarheden af betoner med flyveaske og mikrosilica. CtOs Informationsdag 1984. Aalborg Portland. Aalborg, 1984.
- 1984 Scholtz, E. Crack Development in Carbonated Concrete due to corrosion of Reinforcement. RILEM Seminar on Durability of Concrete Structures under normal outdoor Exposure. Hannover 1984.
- 1984 SKAKO. SLM-metoden. Ny teknologi til fremstilling af beton. Dansk Beton årg. 1, nr. 2. Fredericia, 1984.
- 1984a TI-O. Højtryksspuling af betonoverflader. Fjernelse af betonslag Rapport R 36-84/TI-O. Teknologisk Institut. Tåstrup 1984.
- 1984b TI-O. Karbonatisering af armeringsdæklag i udsatte betonkonstruktioner. Rapport R 36-84/TI-O. Teknologisk Institut. Tåstrup 1984.
- 1985 Askegaard, V. Sammenhæng mellem ændring af en betonkonstruktions dynamiske egenskab og dens tilstand. Dansk Betonforening publikation nr. 25. København, 1985.

- 1985 Bager, D. H. (red). Beton og frost. Rapport fra Nordisk Workshop. Dansk Betonforening publikation nr. 22. København, 1985.
- 1985 Bijen, J.M.J.M. On the Durability of Portland Blast Furnace slag Cement in hot marine Environment. 1st international conference. Deterioration and Repair of Reinforced Concrete in the Arabian Gulf. BSE-CIRIA. Bahrain 1985.
- 1985a BPS. Typiske beskrivelsesafsnit inden for bygningsområdet - basisbeton-beskrivelse - betonelementleverance - betonelementmontage - betonblanket. Koncept 1985-06-13. BPS-centret. Hørsholm, 1985.
- 1985b BPS. Typiske beskrivelsesafsnit inden for bygningsområdet - basisbeton-beskrivelse - betonarbejdet - betonelementleverance - betonelementmontage - betonblanket. Koncept 1985-11-11. BPS-centret. Hørsholm, 1985.
- 1985 Bungey, J. A Review of Insitu Non-destructive Testing of Concrete Structures. Dansk Betonforening publikation nr. 25. København, 1985.
- 1985 Bækmark, K. Komprimering af beton. Beton-Teknik 6/11/1985. Aalborg Portland. Aalborg, 1985.
- 1985 CEB. CEB-guide to durable concrete structures. CEB bulletin d'information no 166. Lausanne, 1985.
- 1985 CFJ. Betons 1-års styrke. Beton-Teknik 10/23/1985. Aalborg Portland. Aalborg, 1985.
- 1985 Christensen, P. Måling af luft i beton. Dansk Beton årg. 2, nr. 3. Fredericia, 1985.
- 1985a CtO. Beton-Bogen. 2. udgave. Aalborg Portland. Aalborg, 1984.
- 1985b CtO. Cement og beton. 6. reviderede og udvidede udgave, januar 1985. Aalborg Portland. Aalborg, 1985.
- 1985a Damgård Jensen, A. Kvalitet af sprøjtebeton. Dansk Beton årg. 2, nr. 1. Fredericia, 1985.
- 1985b Damgård Jensen, A. Måling af sands alkalikiselreaktivitet. Dansk Beton årg. 2, nr. 1. Fredericia, 1985.
- 1985c Damgård Jensen, A. mfl. Strukturanalyse af beton. Beton-Teknik 4/07/1985. Aalborg Portland. Aalborg, 1985.
- 1985 Damsager Hansen, N. O. mfl. Renovering - altangange. BPS publikation nr. 38. BPS-centret. Hørsholm, 1985.
- 1985 DBF. Dansk Betondag 1985. Dansk Betonforening publikation nr. 23. København, 1985.
- 1985 DSF. Betonsvømmebassiners tilstand. Dansk Svømmebadsteknisk Forening publikation nr. 16. Tåstrup, 1985.
- 1985 Fogh Jensen, P. Strukturanalyse som kontrolmetode - En grim ælling. Dansk Beton årg. 2, nr. 2. Fredericia, 1985.
- 1985 Freiesleben Hansen, P. mfl. Efterbehandling af nystøbt beton, fugtlagring. Dansk Beton årg. 2, nr. 3. Fredericia, 1985.

- 1985 Germann Petersen, C. mfl. In-situ NDT-methods for concrete with particular reference to strength, permeability, chloride content and disintegration. Dansk Betonforening publikation nr. 25. København, 1985.
- 1985 Grell, B. Gruskvaliteter. Råstofkontorets kvalitetsserie nr. 2. Fredningsstyrelsen, 1985.
- 1985 Grønvold, F. O. Kontrol af betonkonstruktioner med ikke-destruktiv elektro-kemisk potentialemåling. Dansk Beton årg. 2, nr. 3. Fredericia, 1985.
- 1985 Hansen, J. H. mfl. Udtørring af hærdnende beton. Dansk Beton årg. 2, nr. 3. Fredericia, 1985.
- 1985 Heide, I. Beton er holdbart. Dansk Beton årg. 2, nr. 3. Fredericia, 1985.
- 1985 Idorn, G. M. Alkalikiselreaktioner i betonbygværker. Dansk Beton årg. 2, nr. 4. Fredericia, 1985.
- 1985a Justesen, C. F. mfl. Portlandflyveaskecement. CBL intern rapport nr. 36. CtO. Aalborg, 1985.
- 1985b Justesen, C. Slid på staldgulve. Dansk Beton årg. 2, nr. 4. Fredericia, 1985.
- 1985c Justesen, C. Standardcement og staldgulve. Dansk Beton årg. 2, nr. 1. Fredericia, 1985.
- 1985 KB. Cementers varmeudvikling. Beton-Teknik 10/22/1985. Aalborg Portland. Aalborg, 1985.
- 1985a Kjær, U. Analyse af tilsætningsstoffer. Dansk Beton årg. 2, nr. 1. Fredericia, 1985.
- 1985b Kjær, U. Måling af luft i beton. Dansk Beton årg. 2, nr. 1. Fredericia, 1985.
- 1985c Kjær, U. Måling af luft i beton. Dansk Beton årg. 2, nr. 4. Fredericia, 1985.
- 1985 Knudsen, T. mfl. Metode til prøvning af reaktivt tilslag. Om kemisk-svind metodens fysisk-kemiske grundlag. Dansk Beton årg. 2, nr. 3. Fredericia, 1985.
- 1985 Knutsson, H. H. Armerede betondæk. SBI-anvisning 141. SBI. Hørsholm, 1985.
- 1985 Lauritzen, E. K. mfl. Sprængning af altankonsoller i forbindelse med beton-reparationer. Dansk Beton årg. 2, nr. 2. Fredericia, 1985.
- 1985 Lorentzen, B. T. Kvalitetssikring på projektstadiet. Etagehusbebyggelse, hefte 01. Byggefejlregistret. Rødovre, 1985.
- 1985 Lund, T. mfl. Tærede låsearmringer i præfabrikerede altanbrystninger. BYG-ERFA erfaringsblad 85 05 15. Byggecentrum. København, 1985.
- 1985 Nielsen, A. Alkalikiselreaktioner. Dansk Beton årg. 2, nr. 2. Fredericia, 1985.
- 1985a Olesen, S. Ø. Barrierer i videnformidling. BKI rapport. Lyngby, 1985.
- 1985b Olesen, S. Ø. Er basisbetonbeskrivelsen et fatamorgana? Dansk Beton årg. 2, nr. 3. Fredericia, 1985.
- 1985 Poulsen, E. mfl. 13 betonsygdomme. Hvordan de opstår, forløber og forebygges. SBI publikation Beton 4. SBI. Hørsholm, 1985.
- 1985 Puckman, K. Betonveje. Dansk Beton årg. 2, nr. 3. Fredericia, 1985.

- 1985 Skaarup, J. F. Beton til landbrugsbyggeri. Beton-Teknik 6/10/1985. Aalborg Portland. Aalborg, 1985.
- 1985a VD. Betons holdbarhed, Madum Å-broen. Forsøg med flyveaskebeton. Vejdirektoratet, broafdelingen, rapport nr. 5. København, 1985.
- 1985b VD. The concrete of the Farø Bridges. Vejdirektoratet, broafdelingen. København, 1985.
- 1985 Voldgift. Kendelse i voldgiftssag nr. C 1489. Voldgiftsnævnet for Bygge-og Anlægsvirksomhed. København 1985.
- 1985 Wolff, O. Betons historie. Dansk Beton årg. 2, nr. 1. Fredericia, 1985.
- 1986 Andersen, E. Ny Dybbølsbro i København. Dansk Beton årg. 3, nr. 3. Fredericia, 1986.
- 1986 ATV. Basisbetonbeskrivelsen for bygningskonstruktioner. ATV-udvalget vedrørende betonbygværkers holdbarhed. ATV, Lundtofte, 1986.
- 1986 Blume, T. Flint i tyndslib. Byggeteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup, 1986.
- 1986 Bojesen, O. Guldborgsundtunnelen. Dansk Beton årg. 3, nr. 4. Fredericia, 1986.
- 1986 Brandt, I. TI-B 52. Petrografisk undersøgelse af sand - reproducerbarhed og repeterbarhed. Byggeteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup, 1986.
- 1986 Bredal-Jørgensen, J. Skadesramt beton geologisk set. Varv, nr. 3. København, 1986.
- 1986 Byfors, K. Ta de kloridfria tillsatserne med en nypa salt. Byggindustrien nr. 9. Stockholm, 1986.
- 1986 Bækmark, K. Støbning af beton under vinterforhold. Dansk Beton årg. 3, nr. 2. Fredericia, 1986.
- 1986 Chatterji, S. Studier af alkalikiselreaktioner med særlig henblik på alkalisaltets accelererende indvirkning. Byggeteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup, 1986.
- 1986 Christensen, O. Fragmenter af betonteknologiens udvikling i Danmark. Beton-Teknik 2/09/1986. Aalborg Portland. Aalborg, 1986.
- 1986a Christensen, P. mfl. Erfaringer om prøvning af beton ved brug af strukturanalyse. Dansk Beton årg. 3, nr. 2. Fredericia, 1986.
- 1986b Christensen, P. Ringprøvning efter DS 405 af sand og sten til beton. Byggeteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup, 1986.
- 1986 CtO. Cement og beton. 7. reviderede udgave, august 1986. Aalborg Portland. Aalborg, 1986.
- 1986 Damgård Jensen, A. Strukturanalyse. Dansk Beton årg. 3, nr. 1. Fredericia, 1986.
- 1986 Damsager Hansen, N. O. Beton-svømmebadsbassiner. Vejledning i eftersyn. Dansk Svømmebadsteknisk Forening publikation nr. 20. Tåstrup, 1986.
- 1986 DBF. Dansk Betondag 1986. Dansk Betonforening publikation nr. 26. København, 1986.
- 1986 de Fontenay, C. Beton i Bahrain. Dansk Beton årg. 3, nr. 3. Fredericia, 1986.

- 1986 Esser, N. Prøvningsmetode til bestemmelse af sandmaterialers alkalisk reaktivitet. Dansk Beton årg. 3, nr. 1. Fredericia, 1986.
- 1986 Fentz, O. Forlig om renovering i Urban-Planen. København 1986.
- 1986a Fogh Jensen, P. Afsyring af betonelementer. Grænseværdier for kloridindhold i beton. Dansk Beton årg. 3, nr. 2. Fredericia, 1986.
- 1986b Fogh Jensen, P. Luft i beton contra i kitmasse. Dansk Beton årg. 3, nr. 2. Fredericia, 1986.
- 1986 Grek, B. Langtidsforsøg med mørtelprismer fremstillet af forskellige danske sandtyper. Byggeteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup, 1986.
- 1986 Heichelmann, F. Fabrikskontrollen. Dansk Beton årg. 3, nr. 1. Fredericia, 1986.
- 1986 Jensen, B. C. mfl. Betonforskere! Her er emner, der skal behandles! Dansk Beton årg. 3, nr. 4. Fredericia, 1986.
- 1986 Justesen, C. mfl. Beton, karbonatisering og maling. Dansk Beton årg. 3, nr. 2. Fredericia, 1986.
- 1986 KB. Cementers varmeudvikling 1985. Beton-Teknik 10/24/1986. Aalborg Portland. Aalborg, 1986.
- 1986 Knudsen, M. Den teknologiske udvikling og fremtidens kvalifikationskrav. Dansk Beton årg. 3, nr. 3. Fredericia, 1986.
- 1986 Knudsen, T. Alkali-kisel projektet under ATV, nogle resultater. Dansk Beton årg. 3, nr. 3. Fredericia, 1986.
- 1986 Kristensen, M. mfl. Fejlplaceret armering i udkragede betonaltanplader. BYG-ERFA erfaringsblad 86 09 16. Byggecentrum. København, 1986.
- 1986 Miller, J.B. Rehabilitering av Sentrum Stasjon, Oslo. Foredrag i Dansk Betonforening 1986.03-05. DBF, upubliceret. København 1986.
- 1986 Mogensen, J. Betonuddannelsen starter på specialarbejderskolerne. Dansk Beton årg. 3, nr. 2. Fredericia, 1986.
- 1986 NEJ/CFJ. Betons trækstyrke efter DS 423.24. Beton-Teknik 10/25/1986. Aalborg Portland. Aalborg, 1986.
- 1986 Poulsen, E. Tætte støbeskel med fugerør. Dansk Beton årg. 3, nr. 1. Fredericia, 1986.
- 1986a Rasmussen, T. H. Anvendelse af flyveaske, mikrosilica, slagge og naturlige puzzolaner i beton. Dansk Beton årg. 3, nr. 4. Fredericia, 1986.
- 1986b Rasmussen, T. H. mfl. Beton og brand. Beton-Teknik 3/13/1986. Aalborg Portland. Aalborg, 1986.
- 1986 Roger Henriksen, H. Er betonen så inhomogen som luftporemålingerne antyder? - og er der som følge heraf et frostproblem? Dansk Beton årg. 3, nr. 2. Fredericia, 1986.
- 1986 Skovsende, S. Vådboringens betydning for borekerners fugtindhold. Byggeteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup, 1986.

- 1986 Thaulow, N. mfl. Våd udboring af beton er uden indvirkning på fugtbestem-  
melsen. Dansk Beton årg. 3, nr. 4. Fredericia, 1986.
- 1986 Thorsen, T. mfl. Alkalikiselreaktioner i betonprøveemner. Dansk Beton årg. 3, nr.  
2. Fredericia, 1986.
- 1986 THR. Brandforsøg med silica-beton. Beton-Teknik 10/24/1986. Aalborg Port-  
land. Aalborg, 1986.
- 1986a TI-O. Beton – Materialer til reparation og overfladebeskyttelse af beton. Markeds-  
oversigt 1986. Rapport R 41-86/TI-O. Teknologisk Institut. Tåstrup 1986.
- 1986b TI-O. Vejledning ved projektering. Overfladebeskyttelse af betonfacader. Rap-  
port R 45-86/TI-O. Teknologisk Institut. Tåstrup 1986.
- 1986 Torgersen, O. Luft igen i morgen? Dansk Beton årg. 3, nr. 2. Fredericia, 1986.
- 1986 VD. Load Carrying Capacity of Bridges subjected to Alkali-Silica-Reactions.  
Interim report no. 1. Vejdirektoratet, broafdelingen. København, 1986.
- 1987 Aaquist, E. mfl. Evaluering af forseglingsmidlers effektivitet. Dansk Beton årg. 4,  
nr. 2. Fredericia, 1987.
- 1987 Andersen, N. E. mfl. Bygningers fugtisolering. SBI-anvisning 139. SBI. Hørs-  
holm, 1987.
- 1987a Andersen, O. V. Katodisk beskyttelse af armeret beton. Byggeteknik, Teknologisk  
Institut. Tåstrup, 1987.
- 1987b Andersen, O. V. mfl. Nye udenlandske erfaringer med betonreparationer.  
Byggeindustrien nr. 9. København, 1987.
- 1987 Bach, F. Forskydningsstyrken af alkalikiselskadede betonbjælker. Dansk Beton  
årg. 4, nr. 3. Fredericia, 1987.
- 1987 Bache, H. H. Flydeopførsel i beton ved betonfremstilling. Beton-Teknik 3/14/  
1987.
- 1987 Bender, H. mfl. Kortlægning af sand/grus/stenkvaliteter i Nordjylland. Dansk  
Beton årg. 4, nr. 4. Fredericia, 1987.
- 1987 Betongruppen/TI. Tilstandsbeskrivelse. Analyse og vurdering af betonkonstruk-  
tioners tilstand. Byggeteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup, 1987.
- 1987a Bo Jensen, J. Er den petrografiske metode et mål for sandkvalitet? Dansk Beton  
årg. 4, nr. 1. Fredericia, 1987.
- 1987b Bo Jensen, J. Sandkvalitet i relation til geologiske hændelsesforløb. Dansk Beton  
årg. 4, nr. 1. Fredericia, 1987.
- 1987 Bredal-Jørgensen, J. Skadesramt beton - diagnosticering ved mikrostrukturel  
analyse. Dansk geologisk Forening. Årsskrift for 1986. København, 1987.
- 1987 Brink Laursen, F. Ætsning af glas og aluminium i facader. Dansk Beton årg. 4, nr.  
2. Fredericia, 1987.
- 1987 Byggestyrelsen. Basisbetonbeskrivelsen for bygningskonstruktioner. Boligmini-  
steriet, boligstyrelsen og byggestyrelsen publikation nr. 89. København, 1987.

- 1987 CFJ. Humusundersøgelse af betonsand. Beton-Teknik 10/27/1987. Aalborg Portland. Aalborg, 1987.
- 1987 Concrete Society. Alkali-Silica Reaction, minimizing the Risk of Damage to Concrete. Guidance notes and model specifications clauses. Concrete Society Technical report no. 30. London 1987.
- 1987 Damgård Jensen, A. Kontrolordning for sand og sten til beton. Dansk Beton årg. 4, nr. 1. Fredericia, 1987.
- 1987 Damsager Hansen, N. O mfl. Vejledning. Metoder til undersøgelse af betonkonstruktioner - altangange. BPS publikation nr. 56. BPS-centret. Hørsholm, 1987.
- 1987 DBF. Dårlig beton - hvad nu? Indlæg på temadag. Dansk Betonforening publikation nr. 29. København, 1987.
- 1987 Djurhuus, M. A. mfl. Nedbrudte betonaltangangelementer. BYG-ERFA erfaringsblad 87 10 15. Byggecentrum. København, 1987.
- 1987 EY. Standard-Cement og alkalikiselreaktioner. Beton-Teknik 10/26/1987. Aalborg Portland. Aalborg, 1987.
- 1987a Grelk, B. mfl. Kvalitetsvurdering af sten til beton. Byggeteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup, 1987.
- 1987b Grelk, B. mfl. Sands alkalikiselreaktivitet. Prøvningsmetoder. Byggeteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup, 1987.
- 1987 Holm, J. Overfladebehandling, specielt med silaner, til beskyttelse af beton. Dansk Beton årg. 4, nr. 3. Fredericia, 1987.
- 1987 Ingwersen, L. B. Projekterende - vågn op. Dansk Beton årg. 4, nr. 4. Fredericia, 1987.
- 1987 Knudsen, T. Prøvning af sands alkalireaktivitet med kemisk svindmetoden. Beton-Teknik 10/26/1987. Aalborg Portland. Aalborg, 1987.
- 1987 Kristensen, J. A. mfl. Betons Mikrostruktur. Byggeteknik, Teknologisk Institut. Tåstrup, 1987.
- 1987 Larsen, A. Overfladebehandlings vandafvisende evne. Dansk Beton årg. 4, nr. 4. Fredericia, 1987.
- 1987 Larsen, G. Ny metode øger kvaliteten af betonrenoveringsarbejde. Dansk Beton årg. 4, nr. 1. Fredericia, 1987.
- 1987 Olesen, S. Ø. mfl. Betonaltaners konstruktive udformning. SBI publikation Beton 5. Hørsholm, 1987.
- 1987 Poulsen, E. mfl. Planlægning og udførelse af tætte støbeskel i beton. BYG-ERFA erfaringsblad 87 06 18. Byggecentrum. København, 1987.
- 1987 SBI. Landbrugets byggeblade. Beholdere til gylle, ajle, møddingsaft og ensilage-saft. SBI-landbrugsbyggeri 67. SBI. Hørsholm, 1987.
- 1987 Schaumann, J. Afstandsholdere for armeringsjern. Beton-Teknik 6/12/1987. Aalborg Portland. Aalborg, 1987.

- 1987 TA/JS. Forsøg med mørtel indeholdende cement, flyveaske og mikrosilica. Beton-Teknik 10/27/1987. Aalborg Portland. Aalborg, 1987.
- 1987 Thaulow, N. mfl. Karbonatisering og armeringskorrosion. Dansk Beton årg. 4, nr. 2. Fredericia, 1987.
- 1987 THR. Cements varmeudvikling 1986-1987. Beton-Teknik 10/27/1987. Aalborg Portland. Aalborg, 1987.
- 1987 TI-O. Beton og tegl som underlag for overfladebehandling. Rapport R 47-87/TI-O. Teknologisk Institut. Tåstrup 1987.
- 1987 Tychsen, J. Resultaterne af råstofkortlægningen til søs. Dansk Beton årg. 4, nr. 1. Fredericia, 1987.
- 1987 Yde, E. Den 7. internationale kongres om alkalireaktioner. Dansk Beton årg. 4, nr. 1. Fredericia, 1987.
- 1988 Andersen, O. V. mfl. En metode til aktiv korrosionsbeskyttelse af armering i beton. Dansk Beton årg. 5, nr. 2. Fredericia, 1988.
- 1988 Arup, H. Elektro-kemisk chloridudtrækning af beton. Dansk Beton årg. 5, nr. 4. Fredericia, 1988.
- 1988a Bache, H. H. Fejlurdering af store porers betydning for betons frostbestandighed. Dansk Beton årg. 5, nr. 3. Fredericia, 1988.
- 1988b Bache, H. H. Geometrisk restriktion for dannelse af fin luftporestruktur i beton med lave v/c-tal. Dansk Beton årg. 5, nr. 3. Fredericia, 1988.
- 1988 Birchløv, P. Efterlysning. Hvor er den projekterende, som tør bruge Basisbeton-beskrivelsen rigtigt? Dansk Beton årg. 5, nr. 3. Fredericia, 1988.
- 1988a Bork Jepsen, B. Sammenhæng mellem betons v/c-forhold og luftporestruktur. Dansk Beton årg. 5, nr. 4. Fredericia, 1988.
- 1988b Bork Jepsen, B. Skal kravene til luftporestrukturen justeres? Dansk Beton årg. 5, nr. 4. Fredericia, 1988.
- 1988 Brandt, J. Tung beton til strålingsbeskyttelse. Dansk Beton årg. 5, nr. 1. Fredericia, 1988.
- 1988 Brandt, M. Betonkvalitet. Kan tilsætningsstoffernes egenskaber forudsiges? Dansk Beton årg. 5, nr. 3. Fredericia, 1988.
- 1988 Carbel, J. Betonvarekontrollen. Dansk Beton årg. 5, nr. 2. Fredericia, 1988.
- 1988 Chatterji, S. mfl. Måling af sands alkalikiselreaktivitet ved hjælp af mørtelpris-memetoden. Dansk Beton årg. 5, nr. 1. Fredericia, 1988.
- 1988 Christoffersen, A. K. mfl. Selvudtørring af beton. Dansk Beton årg. 5, nr. 4. Fredericia, 1988.
- 1988 Damgård Jensen, A. DIFs anvisning for anvendelse af flyveaske og mikrosilica i beton. Dansk Beton årg. 5, nr. 2. Fredericia, 1988.
- 1988 Damsager Hansen, N. O. mfl. Svømmebassiner - levetid 10 år? Byggeindustrien, nr. 6/7. København, 1988.



- 1988 Dombernovsky, F. mfl. Løse gulvklinter på betonunderlag. BYG-ERFA erfaringsblad 88 12 17. Byggecentrum. København, 1988.
- 1988 Fangel, B. mfl. Bestemmelse og vurdering af chlorid i beton. BYG-ERFA erfaringsblad 88 09 16. Byggecentrum. København, 1988.
- 1988 Fuglsang Nielsen, L. Materialemechanik II. Rheologi, brud, kompositmaterialer og levetid. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, DTH. Lyngby, 1988.
- 1988 GBK. Tekniske bestemmelser for gødningsbeholderkontrollen. København, 1988.
- 1988 Henrichsen, A. Betons komprimering og luftporestruktur. Dansk Beton årg. 5, nr. 3. Fredericia, 1988.
- 1988 Jacobsen, T. B. Skal betongulvet renoveres igen? Byggeindustrien, nr. 6/7. København, 1988.
- 1988 Kjær, U. Videnformidling på tværs af faggrænserne i betonindustrien og entreprenørbranchen. Dansk Beton årg. 5, nr. 4. Fredericia, 1988.
- 1988 Miller, J. B. mfl. Elektro-kemisk chloridudtrækning af beton. Dansk Beton årg. 5, nr. 3. Fredericia, 1988.
- 1988 Munch-Petersen, C. Hvordan bruges BBB? Dansk Beton årg. 5, nr. 3. Fredericia, 1988.
- 1988 Østergaard, E. K. mfl. Vandindhold i frisk beton. Dansk Beton årg. 5, nr. 2. Fredericia, 1988.
- 1988 Petersen, S. E. Sådan bruges BBB. Dansk Beton årg. 5, nr. 4. Fredericia, 1988.
- 1988 Poulsen, E. Realkalisering af carbonatiserede facader ved elektro-osmose. Dansk Beton årg. 5, nr. 4. Fredericia, 1988.
- 1988a Rostam, S. mfl. Chloridudtrækning og andre elektro-kemiske metoder. Dansk Beton årg. 5, nr. 4. Fredericia, 1988.
- 1988b Rostam, S. mfl. Katodisk beskyttelse af brosjøler. Dansk Beton årg. 5, nr. 2. Fredericia, 1988.
- 1988 Schumann, J. mfl. Slid på betonoverflader. Beton-Teknik 6/13/1988. Aalborg Portland. Aalborg, 1988.
- 1988a Skovsende, S. mfl. Chlorid i beton. Dansk Beton årg. 5, nr. 1. Fredericia, 1988.
- 1988b Skovsende, S. T. Vurdering af armeringsjerns rustgrad. BYG-ERFA erfaringsblad 88 09 15. Byggecentrum. København, 1988.
- 1988 Sørensen, B. Katodisk beskyttelse af armeringsjern. Dansk Beton årg. 5, nr. 2. Fredericia, 1988.
- 1988 Thaulow, N. mfl. Ny viden om alkalireaktioner. Dansk Beton årg. 5, nr. 1. Fredericia, 1988.



Denne publikation giver en historisk gennemgang af danske betonkrav, gængs dansk projekterings- og udførelsespraksis samt eksisterende viden om betons holdbarhed. Stoffet er belyst med eksempler fra skadesager, og det beskrives, hvordan holdbarhedskrav er blevet opfattet på forskellige tidspunkter. Over 1200 relevante, danske betonpubliceringer fra de sidste 100 år er indeholdt i en fyldig litteraturliste til nytte for syns- og skøns mænd samt andre, der involveres i betonskadesager. Det fulde udbytte af denne opslagsbog fås af læsere med kendskab til elementær betontechnologi og indsigt i betonedbrydning.

