

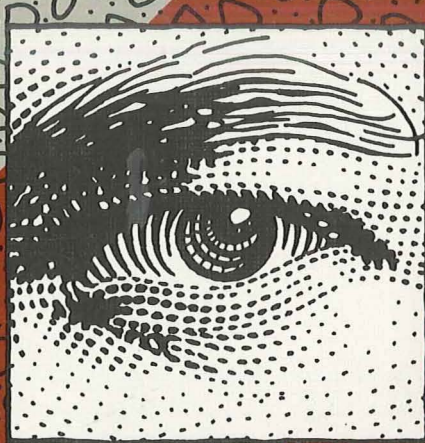
SBI - publik.

# Dokumentation og undersøgelse af beton i bygværker



ved 5-års eftersyn, i almindelige syns- og skønssager, før reparation

BETON 7 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1994





# Dokumentation og undersøgelse af beton i bygværker

ved 5-års eftersyn, i almindelige syns- og skønssager, før reparation

Ervin Poulsen  
Carl de Fontenay

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

ef. 3  
- 1 AUG. 1934

00467 B

SBI

**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 publikationer udgives i øvrigt i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser og Byplanlægning. Publikationerne fås gennem boghandelen eller ved at tegne et SBI-abonnement.

**SBI-abonnement** er en rabatordning med mange fordele for dem, som vil sikre sig løbende orientering om væsentlige udgivelser inden for byggeforskningsområdet. Ring til SBI og hør nærmere.

#### Forkortelser

APM	AECLaboratoriets prøvningsmetoder
ATV	Akademiet for de Tekniske Videnskaber
BBB	Basisbetonbeskrivelsen for bygningskonstruktioner
BE	Beton
DANAK	Dansk Akkreditering
DBF	Dansk Betonforening
DIS	Draft International Standard
DM	Delmaterialer
DS	Dansk Standard
EKP	Elektro-kemisk potentialmåling
FA	Flyveaske
ISO	Den internationale Standardorganisation
KM	Kitmasse
L-TSS	Luftindblandende TSS
MS	Mikrosilica
MØ	Mørtel
P-TSS	Plastificerende TSS
PU	Pulver
RCT	Rapid Chloride Test
RILEM	Den internationale sammenslutning af prøvningslaboratorier for materialer og konstruktioner
SA	Sand
SBC	Særlige bestemmelser for certificering
SS	Svensk Standard
ST	Sten
TI-B	DTI-Byggetekniks prøvningsmetoder
TSS	Tilsætningsstof

ISBN 87-563-0859-0.

ISSN 0109-1263.

Pris: Kr. 200,00 inkl. 25 pct. moms.

Oplag: 2500.

Tryk: Dyva Bogtryk a/s, Glostrup

Fotos: Bent Grelk, COWIconsult. Ervin Poulsen, AEC.

Statens Byggeforskningsinstitut:

Postboks 119, DK-2970 Hørsholm. Telefon 42 86 55 33. Fax 42 86 75 35.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:

*Beton 7: Dokumentation og undersøgelse af beton i bygværker, 1994.*

## Forord

Udbedring af mange alvorlige betonskader på betonkonstruktioner i Danmark i de senere år har ført til en erkendelse af, at der, for at etablere et beslutningsgrundlag for valg af reparations- og vedligeholdelsesstrategi for en aktuell konstruktion, er behov for at kunne bestemme betonens tilstand og forventede udvikling med passende stor sikkerhed og med begrænsede økonomiske ressourcer til rådighed.

Denne publikation beskriver den nødvendige dokumentation samt en række af de prøvningsmetoder, som kan blive aktuelle, når det er nødvendigt at undersøge beton i den færdige konstruktion for at skaffe viden om betonens egenskaber og tilstand fx på udførelsestidspunktet. Inspektion og undersøgelse af armering og armerings korrosion behandles ikke i denne publikation.

Baggrunden for en undersøgelse kan være, at der er iagttaget skader på betonkonstruktionen, eller at det er nødvendigt at dokumentere betonens opfyldelse af krav i basisbetonbeskrivelsen eller andre betonspecifikationer, fx i forbindelse med en skønssag.

Publikationen henvender sig til teknikere, som beskæftiger sig med betonkonstruktioner ud fra forskellige synsvinkler, det være sig tilsyn eller undersøgelser i forbindelse med 5-års eftersyn, generelt eftersyn, særeftersyn eller undersøgelser i forbindelse med skønssager og reparationer. Publikationen henvender sig også til bygningsejere og -administratorer, som har behov for at kunne vurdere teknikeres forslag til betoneftersyn og -undersøgelser.

Det første manuskript til den nu foreliggende publikation kom i stand på foranledning af Bygge- og Boligstyrelsen. Den oprindelige version behandlede alene problematikken vedrørende de undersøgelser, som kunne komme på tale ved 5-års eftersyn. En publikation med dette snævre sigte ville imidlertid kun henvende sig til ganske få læsere. Derfor besluttede Bygge- og Boligstyrelsen sig til ikke at udgive den oprindeligt planlagte publikation. I stedet fik Statens Byggeforskningsinstitut tilladelse til at anvende det udarbejdede manuskript og at udbygge det, således at der i SBI's betonserie kunne udgives en publikation om eftersyn af beton i konstruktioner med et mere bredt sigte.

Manuskriptet er udarbejdet af civilingeniør Ervin Poulsen, AECLaboratoriet, og civilingeniør, lic.tech. Carl de Fontenay, COWIconsult, mens redaktionen er foretaget af civilingeniør Peter Mogensen, SBI.

Med denne nyttige håndbog fortsætter SBI således udgivelsen i den publikationsserie, som blev initieret af ATV-udvalget vedrørende betonbygværkers holdbarhed.

*Hans Jørgen Larsen, direktør*  
Statens Byggeforskningsinstitut, juni 1994.

# Indhold

<i>Forord</i> .....	5
<i>Indledning</i> .....	9
Normer og andre bestemmelser, 9	
Eftersyn og undersøgelser, 10	
<i>Betonbeskrivelser og miljø</i> .....	14
Miljøpåvirkninger og miljøklasser, 14	
Basisbetonbeskrivelsen, 22	
Aktuelle betonnormer, 24	
Projektmateriale, 24	
<i>Eftersyn og undersøgelser</i> .....	26
Formål med eftersyn og undersøgelser, 26	
Nødvendig dokumentation fra byggeriets opførelse, 26	
Procedure, hvis dokumentation mangler, 27	
Rapportering, 27	
<i>Undersøgelse af hærdnet beton</i> .....	28
Prøvningsmetoder, 28	
Kontrolafsnit, 38	
Undersøgelsesomfang, 43	
Beslutningsregler, 44	
<i>Dokumentation og undersøgelser</i> .....	49
Vurdering af betons delmaterialer, 49	
Vurdering af betons sammensætning, 58	
Vurdering af betons styrke og mikrostruktur, 66	
Vurdering af betonarbejde, 73	
<i>Alternativ prøvning</i> .....	75
Carbonatisering, 75	
Vandpermeabilitet, 75	
Chloridindtrængning, 76	
Frostbestandighed, 77	
Restekspansion, 78	

<i>Prøveudtagning</i> .....	79
Principper for prøveudtagning, 79	
Observationer, 79	
Stikprøvestørrelse, 80	
Beslutningsregler, 80	
<i>Eksempel på betonundersøgelse</i> .....	82
Beskrivelse og skader, 82	
Problemstilling, 83	
Prøvningsomfang, 83	
Prøver og prøveudtagning, 85	
Målinger og vurderinger, 86	
Konklusion, 92	
<i>Bilag 1. Prøvningsmetoder</i> .....	95
Betons trykstyrke bestemt ved CAPO-test, 95	
Carbonatiseringsmåling, 101	
Chloridindtrængning, 102	
Chloridindhold i uforstyrret, hærdnet beton, 103	
Chloridprofil, 104	
Frostbestandighedsprøvning, 105	
Indhold og fordeling af luft i beton, 107	
Mikrostrukturel analyse af hærdnet beton, 107	
Petrografisk undersøgelse af sand i beton, 108	
Restekspansion, 109	
Vandindtrængning, 110	
Yderligere oplysning om prøvningsmetoder, 110	
<i>Bilag 2. Basisbetonbeskrivelsens betonblanketter</i> .....	111
Detaljeret gennemgang af de tre BBB-blanketter med kommentarer til de enkelte blanket-rubrikker	
<i>Bilag 3. Dansk Betonforenings kontroljournal-blanketter</i> .....	125
<i>Bilag 4. Dokumentationsoversigt</i> .....	134
<i>Summary</i> .....	136

# Indledning

Det er et naturligt krav til betonbyggeri, at der skal foreligge dokumentation for, at de i projektet stillede krav er opfyldt med den normmæssigt krævede sikkerhed. Denne dokumentation kan foreligge hos projekterende, entreprenører og materialeleverandører i form af rapporter fra forprøvningen og kontrolprøvningsjournaler fra byggeriet. Disse dokumenter arkiveres og opbevares efter aftale i et passende antal år efter byggeriets aflevering. Opstår der senere problemer med betonen i byggeriet, vil disse dokumenter naturligt danne grundlag for en prøvelse parterne imellem.

Det sker, at disse dokumenter ikke er fyldestgørende, fx fordi de stillede krav ikke har været éntydige og operationelle. Det hænder også, at dokumenterne er bortkommet eller simpelthen aldrig har eksisteret. I alle disse tilfælde skal der igangsættes en undersøgelse til afklaring af forholdene, og det er sådanne undersøgelsesmuligheder, denne publikation handler om.

## **Normer og andre bestemmelser**

Danmark har siden 1908 haft betonnormer, som er blevet revideret med jævne mellemrum; sidst i 1990. Hertil kommer basisbetonbeskrivelsen fra Bygge- og Boligstyrelsen, gældende fra 1987.

Normer må i deres form være ret generelle; det tilstræbes således i betonnormer kun at stille sådanne krav, som tager vare på borgernes sikkerhed og velfærd. Der er i danske betonnormer indtil 1990 kun stillet krav til betons holdbarhed (dæklagstykkelse og betonsammensætning) i den udstrækning, som er berettiget af hensynet til sikkerheden mod brud.

Dertil kommer så basisbetonbeskrivelsen, hvori det tilstræbes at stille sådanne krav, som hovedsageligt tager hensyn til betonkonstruktionernes holdbarhed. Basisbetonbeskrivelsen og betonnormen DS 411 er fra 1990 søgt harmoniseret.

Krav i betonnorm og basisbetonbeskrivelse er ikke tilstrækkelige for betonbyggeriet. Der skal tages stilling til en række specifikke problemer som følge af de krav, som bygherren gennem sin rådgiver stiller i den betonbeskrivelse, der angår det pågældende betonbyggeri. For at disse krav kan være éntydige og operationelle kræves det, at det ved anerkendte prøvningsmetoder kan måles og dokumenteres, at de stillede krav er blevet opfyldt.

Det har ved en del bygværksundersøgelser vist sig, at stillede krav ikke altid var blevet dokumenteret i forbindelse med byggeriets opførelse. Det har også

vist sig, at der i en del tilfælde er tale om så vagt formulerede krav, at det ikke kunne afgøres, om kravene kunne regnes opfyldt. Dette er typisk gældende for en hel del byggeri fra 1960'erne og 1970'erne.

### Eftersyn og undersøgelser

Ved planlægning og udførelse af undersøgelse af beton i konstruktioner må man skelne mellem:

- 5-års eftersyn, for hvilket der ligger klare retningslinier.
- Undersøgelser, som må foretages af syns- og skønsmand for at besvare stillede spørgsmål i en given skønssag.
- Undersøgelser som grundlag for projektering af betonreparation, hvor årsagen til betonskaderne skal fastlægges og årsagen fjernes inden eller i forbindelse med, at reparationen udføres.

#### 5-års eftersyn

Figur 1 viser et rutediagram for et komplet 5-års eftersyn. Undervejs kan der komme til at foreligge tre forskellige situationer. Der kan i byggesagen findes *fyldestgørende dokumentation*. Der kan være *mangelfuld dokumentation*. Der kan være *observeret skader* (uanset om der er dokumentation eller ej).

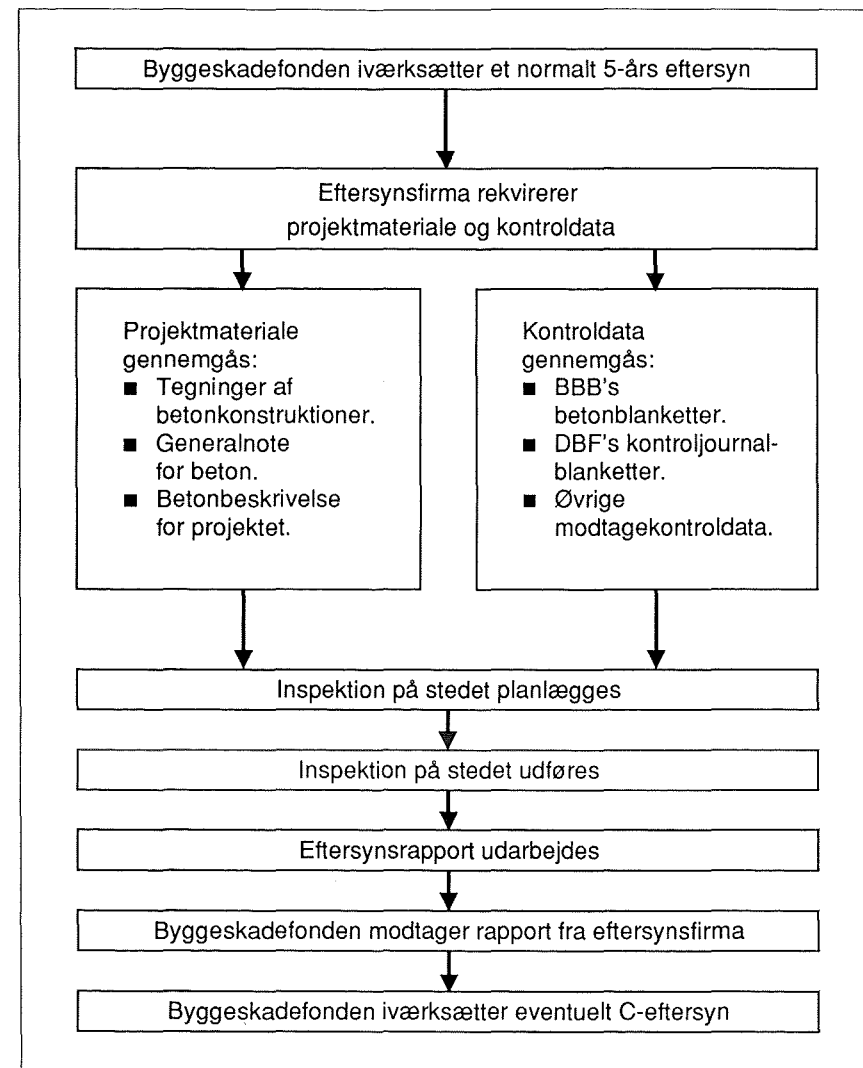
Planlægning og gennemførelse af en betonundersøgelse er forskellige i de tre tilfælde. I det første tilfælde (med fyldestgørende dokumentation) er der tale om at konstatere, om visse krav i basisbetonbeskrivelsen er blevet opfyldt. Dette sker ved at studere dokumenterne (blanketterne).

I det andet tilfælde (med mangelfuld dokumentation) skal der gøres et forsøg på at fremskaffe manglende dokumentation eller findes en årsagssammenhæng mellem eventuelt konstaterede skader og kritisable forhold i den anvendte betons 5-årige forhistorie, fx fejl vedrørende delmaterialer, sammensætning, vedligeholdelse mv. *Krav* til en sådan undersøgelse er ikke medtaget i nærværende publikation, som kun beskriver fremgangsmetoden. Planlægning og udførelse af en sådan undersøgelse vil blandt andet afhænge af de konstaterede skader eller tegn på skader.

I det tredje tilfælde (observerede skader) skal der planlægges og gennemføres et eftersyn af beton i den skadede konstruktion. Det kan ske ved in-situ prøvning af beton i konstruktionen og ved, at der udtages prøver af betonen med henblik på laboratorieundersøgelser.

#### Fyldestgørende dokumentation

Normalt vil der foreligge en dokumentation, som godtgør, at basisbetonbeskrivelsens krav er blevet opfyldt. Denne dokumentation vil da foreligge i form af fyldestgørende udfyldte betonblanketter og kontroljournal-blanketter.



Figur 1. Rutediagrammet som helhed viser et simplificeret forløb af et normalt eftersyn. Eftersynet omfatter mere end 40 aktiviteter, som gennemføres af Byggeskadefonden, bygningsejeren, kommunen og eftersynsfirmaet.

### *Mangelfuld dokumentation*

Hvis disse dokumenter ikke kan fremlægges i fyldestgørende stand, eller dokumenterne er gået tabt, er der ikke dokumentation for, at basisbetonbeskrivelsens krav er blevet opfyldt. I Bygge- og Boligstyrelsens bekendtgørelse nr. 541 af 18. juli 1990 om 5-års eftersyn af byggeri, der er omfattet af Byggeskedefonden, siger § 2 stk. 3 følgende:

»Eftersynet skal omfatte prøver af betonkonstruktioner, der er udsat for vejrliget, i de tilfælde, hvor det ikke er dokumenteret over for Byggeskedefonden, at den anvendte beton svarer til basisbetonbeskrivelsen«.

I sådanne tilfælde skal det, for beton i moderat og aggressiv miljøklasse, ved undersøgelser, der kan kræve indgreb i bygværket, godtgøres, om de stillede krav i basisbetonbeskrivelsen med rimelig sandsynlighed kan betragtes som værende opfyldt på opførelsestidspunktet.

### *Observerede skader*

En undersøgelse, der kan kræve indgreb i bygværket, kan imidlertid også komme på tale for beton i moderat og aggressiv miljøklasse i de tilfælde, hvor der ved et 5-års eftersyn konstateres skader, tegn på skader og/eller iboende muligheder for skader, også selv om der foreligger fyldestgørende eller manglende dokumentation. Formålet er her at få vurderet, om skaderne skyldes mangelfuld kontrol med betonen, forkert valg af miljøklasse, manglende vedligeholdelse eller andre forhold.

### *Undersøgelser i forbindelse med syn og skøn*

I forbindelse med betonskadesager, hvor der afholdes syn og skøn, vil der altid foreligge konkrete spørgsmål, som skal søges besvaret af skønsmanden.

### *Fyldestgørende dokumentation*

Mange af disse spørgsmål vil kunne besvares ud fra en foreliggende dokumentation og en inspektion af de pågældende betonskader. Spørgsmål, som er stillet for at opklare, om det er rimeligt at antage, at betonen har opfyldt de stillede krav i projekt materialet og de på opførelsestidspunktet gældende normer og andre bestemmelser, kan besvares på samme måde som ved et 5-års eftersyn, dvs. ud fra foreliggende dokumentation, eventuelt suppleret med en stikprøvevis undersøgelse af udtagne prøver fra den skadede beton i konstruktionen.

### *Manglende dokumentation*

Hvor fyldestgørende dokumentation ikke kan fremskaffes, har skønsmanden kun mulighed for at besvare stillede spørgsmål ved at foretage undersøgelser af udtagne betonprøver efter en af parterne på forhånd accepteret stikprøve-

plan. I sådanne tilfælde bliver stikprøveplanen afgørende for den nøjagtighed, hvormed de stillede spørgsmål kan besvares. Laboratoriet, som foretager undersøgelsen, må derfor ledsage analyseresultaterne af en usikkerhedsberegning (fx ved konfidensinterval), der angiver den vægt, man kan tillægge undersøgelsens resultat.

### *Undersøgelser i forbindelse med reparation*

Før en betonreparation projekteres, skal årsagerne til betonskaderne kendes, således at disse årsager kan fjernes. Sandsynligheden for at opnå en holdbar reparation af skadet beton, hvor årsagen ikke kendes, er erfaringsmæssigt ringe.

Typiske eksempler er reparation af beton med revnedannende alkalireaktion eller reparation af beton med et stort indhold af chlorider (armeringskorrosion).

### *Skadeanalyse af beton*

Der findes mange årsager til manglende holdbarhed af beton i bygningskonstruktioner. SBI-publikationen *13 betonsygdomme* (Beton 4, 1985) behandler detaljeret årsager til betons manglende holdbarhed.

Når en skadeårsag skal fastslås på basis af en betonundersøgelse, bør de metoder, der bringes i anvendelse vælges således, at man starter med inspektion af det skadede bygværk og ender med undersøgelser af betonprøver, hvor forskellige prøvningsmetoder med stigende detaileringsgrad bringes i anvendelse.

Det betyder fx, at planslib skal undersøges før tyndslib, og at et overflademikroskop skal anvendes før et polarisationsmikroskop, som igen skal anvendes, før man eventuelt tager et elektronmikroskop i brug. Tilsvarende bør betons indhold af chlorider først undersøges ved analyse af udtaget borestøv fra betonoverfladen; eventuelt kan blot en farveindikator anvendes. Afhængig af resultaterne af disse simple chloridanalyser kan man derefter foretage bestemmelse af chloridprofiler på udborede betonkerner.



# Betonbeskrivelser og miljø

Det kan være relevant at foretage undersøgelse af, om stillede krav har været opfyldt på opførelsestidspunktet i betonkonstruktioner, som er opført i henhold til enten basisbetonbeskrivelsen fra 1987 eller betonnormen DS 411 fra 1973, 1984 eller revisionen i 1990.

For betonkonstruktioner, som skal repareres, og hvor betonen undersøges for at finde årsagen til den manglende holdbarhed, er der ikke nødvendigvis behov for at undersøge, om de stillede krav til betonen har været opfyldt på opførelsestidspunktet. Disse betonkonstruktioner kan være opført efter bestemmelserne i betonnormen DS 411 fra 1949, der var gældende indtil 1976. Undertiden kan man komme ud for, at bygværker, der skal repareres, har været opført efter endnu ældre betonnormer, dvs. betonnormer fra fx 1943, 1930, 1926 eller 1921.

## Miljøpåvirkninger og miljøklasser

For beton, der viser sig ikke at være holdbar, gælder det, at den pågældende beton ikke har besiddet sådanne egenskaber og karakteristika, at den har kunnet modstå den miljømæssige påvirkning fra bygværkets omgivelser. Betydende, aggressive faktorer er følgende:

- Omgivende lufts temperatur, fugtighed og kemiske sammensætning.
- Omgivende vands temperatur og kemiske sammensætning.

Danske betonnormer har gennem tiden stillet varierende krav til beton i afhængighed af omgivelsernes aggressivitet, men det var først i betonnormen fra 1973, at betegnelsen »miljøklasse« blev indført. Man taler derfor ofte om »miljøafhængige krav« til beton (men enkelte krav til beton er dog miljøuafhængige, som fx kompaktthed, indhold af indblandet luft, chloridindhold og indhold af alkalireaktivt tilslag). Det betyder, at man ikke umiddelbart kan opstille en liste over de krav, der har været stillet til en beton, uden at vide, i hvilket miljø den pågældende beton har været forudsat placeret ved projekteringen. Der kan i denne forbindelse tænkes flere muligheder:

- Det ved projektering eller udførelse forudsatte miljø har ikke dengang eller senere givet det sande billede af betonens miljøpåvirkning. Årsager hertil kan være fejlprojektering, tilsynsfejl eller miljøskift i bygværkets funktionsperiode.

- Det ved projektering eller udførelse forudsatte miljø har givet korrekt billede af betonens miljøpåvirkning, men der er ikke opnået de egenskaber og karakteristika for betonen, som har været nødvendige for at modstå omgivelsernes aggressivitet. Årsagen hertil kan da være at finde i projekteringen, udførelsen eller betonnormen, jf. SBI-publikationen: *Beton 6 Betonkrav og -praksis*. 1989.

I det følgende omtales de betydende faktorer i miljøets aggressivitet. Derefter behandles de forskellige miljøklasser i basisbetonbeskrivelsen og i betonnormerne siden 1973. Der henvises i øvrigt til SBI-publikationen: *Beton 8 Valg af miljøklasse for betonkonstruktioner*. 1994.

## Omgivende lufts kemiske sammensætning

Der er tre luftarter i atmosfæren, som direkte eller indirekte skader beton. Det er carbondioxid (også kaldet kuldioxid, kultveilte og tidligere kulsyre), svovldioxid og nitrogenoxider (kvælstofilter). Svovldioxid og nitrogenoxider går sammen med luftens fugtighed og er således medvirkende til sur regn. Sur regn har pH-værdier fra 5,5 til ca. 2,5 og kan således skade betonens kitmasse, så den smuldrer. Desuden er den sure regn en medvirkende årsag til en neutralisering af porevæsken i betons overfladelag. Virkningen af den sure regn er meget langsom, når der ses bort fra steder, især industriområder, hvor atmosfærens indhold af svovldioxid og nitrogenoxider er højt.

Hertil kommer luftbårne chlorider ved kyststrækninger. Chlorider i små mængder skader ikke hærdnet beton, men chlorider er selv i små mængder meget aggressive over for betonkonstruktioners armering.

### Svovldioxid

Svovldioxid ( $\text{SO}_2$ ) dannes ved forbrænding af fossile brændstoffer. Svovldioxid dannes også ved naturlige processer som vulkanudbrud og forrådnelsesprocesser i moser mv., men bidraget regnes størst fra de menneskeskabte processer. Svovldioxid omdannes under indvirkning af lys, oxygen ( $\text{O}_2$ ) og vand ( $\text{H}_2\text{O}$ ) til svovlsyre ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

Svovlsyren danner dråber, som er under  $1 \mu\text{m}$  ( $0,001 \text{ mm}$ ), og som medvirker til at gøre regnen sur. Svovldioxid danner også svovlsyring ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ), der dog ikke er nær så aggressiv over for beton som svovlsyre.

### Nitrogenoxider

Også nitrogenoxider ( $\text{NO}_x$ , fx  $\text{NO}_2$ ) dannes ved forbrænding af fossile brændstoffer. Det er atmosfærens nitrogen ( $\text{N}_2$ ) og oxygen ( $\text{O}_2$ ), der under høje temperaturer reagerer og danner nitrogenoxider.

Nitrogenoxid omdannes under indvirkning af lys, oxygen og vand til

salpetersyre ( $H_2NO_3$ ), der danner dråber, som er under 1  $\mu m$  (0,001 mm) og som medvirker til at gøre regnen sur.

#### *Carbondioxid*

Carbondioxid ( $CO_2$ ) medvirker også til at gøre regn sur, men dette bidrag er lille i forhold til bidraget fra atmosfærens svovldioxid og nitrogenoxider. Carbondioxid påvirker derimod beton på en anden måde end svovldioxid og nitrogenoxid.

Når nystøbt beton, efter at udtørningsbeskyttelsen er ophørt, udsættes for luft, vil der ske en vis udtørring. Dermed kommer cementpasta i betonoverfladen i kontakt med luftens carbon dioxide, som trænger ind i betonoverfladens kapillarporer i takt med, at disse tørrer ud. Cementpasta indeholder forholdsvis store mængder calciumhydroxid,  $Ca(OH)_2$ , som vil reagere kemisk med carbon dioxide og danne calciumcarbonat,  $CaCO_3$ . Derved forbruges calciumcarbonat i betonoverfladen og indholdet af carbon dioxide i kapillarporerne formindskes. Dette fører til, at carbon dioxide trænger ind i tomme kapillarporer ved diffusion, dvs., at carbon dioxide bevæger sig i retning af områder med mindre koncentration af carbon dioxide, altså ind i betonen til steder, hvor calciumhydroxid endnu ikke er omdannet. Der sker altså en fremadskridende forkalkning af betonen og man kalder derfor denne proces for en »carbonatisering«.

Det skal dog bemærkes, at der kræves en vis fugtighed i kapillarporerne, for at calciumhydroxid ved påvirkning af carbon dioxide kan omdannes til calciumcarbonat. Det viser sig, at ved en betonfugtighed under ca. 30 pct. RF er betons carbonatisering ubetydelig, alt andet lige. Tilsvarende kræves det, at betons kapillarporer er passende tomme, således at carbon dioxide kan trænge ind og medføre carbonatisering. Betons kapillarporer er væskefyldte ved en betonfugtighed på 100 pct. RF, men carbonatisering kan negligeres ved en betonfugtighed over ca. 90 pct. RF.

Der dannes altså en slags vejrhud i betonens overfladelag. Denne vejrhud skader dog ikke uarmeret beton, men den carbonatiserede beton er ikke rustbeskyttende som ucarboniseret beton. Hvis det carbonatiserede betonlag bliver tykkere end armeringens dæklag, vil armeringen ikke længere være rustbeskyttet. Det betyder, at armeringen vil begynde at ruste, hvis der ellers er tilstrækkelig fugt- og oxygentilgang.

Betons carbonatisering er dog ikke en så enkel kemisk proces, som man umiddelbart kunne få indtryk af. Carbonatisering er et samspil af forskellige processer, som rent praktisk kan opdeles i følgende fire faser:

■ *Diffusion af carbon dioxide ind i betonens kapillarporer.* Denne diffusionsproces kan kun ske, hvis i det mindste en del af betonens kapillarporer er åbne, dvs. hvis betonens relative fugtighed er under ca. 90 pct. RF.

■ *Optagelse af carbon dioxide i betonens porevæske.* Der vil normalt være porevæske til stede i betonens kapillarporer, blandt andet som en væskefilm på kapillarporevæggen. Heri optages carbon dioxide. Hovedmængden af den indtrængende carbon dioxide vil optages som fri  $CO_2$ , men en del vil dog reagere med porevæsken under dannelse af kulsyre  $H_2CO_3$ , der er en svag syre.

■ *Neutralisering af porevæsken.* Oprindelig er betonens porevæske alkalisk med en pH-værdi på 13-14. Optagelsen af carbon dioxide i porevæsken vil derved udfælde calciumioner i porevæsken som calciumcarbonat. For at opretholde balancen i porevæsken vil calciumhydroxid derfor gå i opløsning og tilføre porevæsken calciumioner. Når al calciumhydroxid er blevet opløst på denne måde, falder porevæskens pH-værdi til under 9.

■ *Udludning af calciumcarbonat fra betonoverfladen.* Ved påvirkning fra sur regn vil pH-værdien i betonoverfladens carbonatiseringslag falde yderligere. Det kan betyde, at den dannede calciumcarbonat opløses; man siger, at der sker en udludning, som dog normalt foregår med en meget lille hastighed.

Betons carbonatiseringshastighed vokser med luftens koncentration af carbon dioxide. Høj koncentration af carbon dioxide, fx i svinestalde, fabriksområder og fodersiloer, kan øge carbonatiseringshastigheden mærkbart.

#### *Luftbåren chlorid*

Kraftig blæst over hav danner bølger og skumsprøjt. Det betyder, at chloridholdigt havvand føres med vinden som små dråber; dette beteges *luftbåren chlorid*. Under og efter en storm vil betonkonstruktioner nær en kyststrækning, i Danmark især de vestvendte, påvirkes af luftbårne chlorider. Det betyder, at betonkonstruktioner nær en kyststrækning befinder sig i et aggressivt miljø, jf. DS 411.

Bredden af den kyststrækning, som kan beteges som aggressiv over for armerede betonkonstruktioner, er ikke en veldefineret størrelse. Måske derfor har betonnormen DS 411 ikke givet en talmæssig fastsættelse af de aggressive kyststrækninger i Danmark. Australien har gældende bestemmelser herom. Midt i Jylland møder man med års mellemrum spor af luftbårne chlorider som synlige saltbelægning på telefonmaster og bygninger.

Der findes i Danmark ingen målinger over de luftbårne chloriders betydning for betonkonstruktionens holdbarhed. I Sverige er der derimod gennemført målinger ved den svenske vestkyst. Det er konstateret, at luftbårne chlorider over en længere årrække kan bidrage væsentligt til chloridpåvirkningen af en betonkonstruktion, der er placeret nær en kyststrækning.

Luftbårne chlorider, der afsættes på betonkonstruktioner i kraftig blæst, kan trænge ind i områder af bygninger, som normalt er beskyttet mod silende regn. Derfor er der områder på betonkonstruktioner, som efter en »saltstorm« ikke

renses af silende regn. Sådanne områder kan være mere udsatte for chlorid-indtrængning og dermed armeringskorrosion end områder, der er ubeskyttet mod silende regn, fx facader.

Et andet eksempel på luftbårne chlorider findes i trafiksprøjt. Chloriderne stammer her fra chloridholdige tøsalte, der anvendes ved glatførebekæmpelse. Bropiller er således udsat for chloridpåvirkning fra trafiksprøjt; selv i beton i brodæks underside kan man spore en betydelig virkning af trafikbårne chlorider. Derfor er broer generelt set placeret i et aggressivt miljø, selv om der er tale om betonkonstruktioner, der befinder sig langt fra en kyststrækning.

### *Fugtigheden af beton og omgivende luft*

Som det fremgår af ovenstående, spiller luftens fugtighed en væsentlig rolle for aggressiviteten af luftens svovldioxid og nitrogenoxider (sur regn) samt carbondioxid (carbonatisering). Ligeledes spiller betons fugtighed en betydelig rolle for chloridindtrængningen i beton, der til tider er påvirket af luftbåren chlorid.

### *Carbonatisering*

I betonoverfladen indstiller der sig et fugtniveau, som er i balance med den omgivende luft. Betonens relative fugtighed har betydning for betonens carbonatiseringshastighed, alt andet lige. Kan betonen kun modtage fugt fra luften, vil betonens relative fugtighed stort set svare til luftens fugtighed.

Hvis betonen derimod har kontakt til fugtig jord, eventuelt med grundvand, vil betonen få en meget høj relativ fugtighed. I brosjøler er det ikke ualmindeligt at måle en fugtighed i betonen på ca. 95 pct. RF. Dette har betydning for betonens carbonatiseringshastighed. Beton med en fugtighed på 90 pct. RF og derover vil stort set ikke carbonisere; dertil er betonen for våd (kapillarporerne er næsten alle fyldte). Kun betonoverfladen vil blive udsat for svingninger i fugtighed, dvs. være vandmættet efter slagregn og blive udtørret til væsentligt under ca. 90 pct. RF i tørre perioder med carbonatisering til følge. Denne fugtssvingning kan kun mærkes i et overfladelag af et par cm's tykkelse. Derfor gælder kvadratreglen (se Beton 4, side 56) for carbonatisering ikke for en sådan beton; carboniseringsdybdens afhængighed af tiden har derimod en asymptote i den dybde, hvor betonfugtigheden er så høj, at carbonatisering af beton i praksis ikke finder sted (ca. 90 pct. RF).

En undersøgelse af carboniseringsdybden af norske betondæmninger har således vist, at der kun kan observeres en maksimal carboniseringsdybde på omkring et par mm, selv om betondæmningerne havde en alder af næsten 100 år og  $v/c$ -forholdet ikke var særlig lavt.

En typisk indflydelse af fugtigheden på carboniseringsdybden ses i beton-

altaner. Oversiden er udsat for slagregn, medens undersiden ikke er det. Som regel ser man i altaners undersider carboniseringsdybder, som ofte er 4-6 gange så stor som carboniseringsdybden i altanens overside.

Er beton meget tør, vil carbonatiseringen også blive meget begrænset; betonen er for tør til, at carboniseringsprocessen kan foregå. Nu er fuldstændig udtørring i praksis ikke mulig, hverken i et indendørs eller et udendørs miljø. Mærkbar carbonatisering finder sted mellem ca. 30 og 90 pct. RF.

Meget stor carboniseringsdybde er fx konstateret i det indre af beton-skorstene, helt op til 150 mm. I svinestalde, hvor koncentrationen af carbondioxid i luften er højere end normalt, er der også konstateret højere carboniseringshastighed end normalt.

### *Chloridindtrængning*

For at chloriddiffusion i beton kan blive mærkbar, skal betonen have fyldte kapillarporer, dvs. betonens fugtighed skal være over ca. 80 pct. RF. Chloridindtrængning i beton, der påvirkes af luftbårne chlorider, vil derfor være meget afhængig af betonens generelle fugtighed.

Brosjøler, der har kontakt til fugtig jord og grundvand, har normalt høj fugtighed. Derfor er de særlig udsat for chloridindtrængning fra luftbåren chlorid i trafiksprøjt. Tilsvarende forhold gælder for den del af betonkonstruktioner i havvand, som er over vandskorpen. Her påvirkes betonen af luftbåren chlorid fra bølgesprøjt og kraftig vind over havet.

Man kan ikke umiddelbart anvende de matematiske modeller for chloridindtrængning, som er gældende for vandmættet beton, der er neddykket i saltvand. Emnet har imidlertid endnu ikke været genstand for teoretisk og eksperimental forskning.

### *Temperatur af beton og omgivende luft*

Det er en kendt tommelfingerregel, at en kemisk reaktionshastighed øges til det dobbelte, når temperaturen øges med 10 °C. Denne regel kan også anvendes for carbonatisering, vel at mærke, når betonens fugtighed holdes konstant. En øgning af temperaturen fra fx en nordvendt betonfacade til en sydvendt facade medfører ofte også en betydningsfuld ændring i fugtforholdene.

Også udludning af beton ved sur regn øges ved en temperaturstigning, alt andet lige. Det samme gælder chloridindtrængning i beton.

### *Omgivende vands kemiske sammensætning*

Aggressiviteten af vand, som påvirker betonkonstruktioner, er meget forskellig, alt efter vandkilden. Man kan til dette formål opdele vand efter følgende kilder:

- Ferskvand (drikkevand).
- Havvand.
- Industrispildevand.

Alt efter aggressiviteten af det vand, som påvirker betonen, befinder betonen sig i et miljø, som enten er moderat, aggressivt eller særlig aggressivt.

#### Ferskvand (drikkevand)

Som navnet antyder, indeholder ferskvand ikke ubehageligt smagende salte. Ferskvand er dog ikke som destilleret vand helt fri for salte. Vandværksvand skal opfylde krav, stillet i Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 468 af 16. september 1983.

Man deler fersk grundvand i grupper, alt efter deres aggressivitet over for hærdnet beton. Aggressiviteten består i, at ferskvand under visse omstændigheder er *kalkopløsende* (blødt vand) og under andre *kalkudskillende* (hårdt vand). Når ferskvand er kalkopløsende vil betonens kitmasse langsomt miste sammenhæng og smuldre. Man deler normalt grundvand i følgende grupper:

- *Alkalisk vand.* Kalkudskillende vand med pH-værdi  $\geq$  ca. 8. Alkalisk vand er ikke aggressivt over for hærdnet beton.
- *Normalt grundvand.* Kalkudskillende til neutralt vand med pH-værdi  $\geq$  ca. 6,9. En korrekt bedømmelse kræver imidlertid en vandanalyse af vandprøvers indhold af bicarbonat og fri carbondioxid, jf. Beton-Teknik 3/03/1974.
- *Stærkt aggressivt vand.* Kalkopløsende vand med pH-værdi  $\leq$  ca. 6,8.
- *Mineralsurt vand.* Kalkopløsende vand med pH-værdi  $\leq$  ca. 5,6.

Beton i konstruktioner, som påvirkes af ferskvand, skal efter DS 411 og basisbetonbeskrivelsen placeres i moderat miljøklasse. Basisbetonbeskrivelsen anfører dog side 7 følgende: »... bygningsdele helt eller delvist i strømmende aggressivt vand er eksempelvis ikke omfattet af basisbetonbeskrivelsen«.

Betonrør kan eksempelvis blive udsat for blødt, kulsyreholdigt vand ( $H_2CO_3$ ). Der er eksempler på, at betonvæggen i nedgangsbrønde er blevet nedbrudt af stærkt aggressivt ferskvand på ganske få år.

#### Havvand

Havvand indeholder forskellige stoffer (salte), hvoraf flere er aggressive over for armeret beton. Det typiske, gennemsnitlige ionindhold i havvand fremgår af tabel 1.

Havenes saltindhold varierer ikke alene fra område til område, men saltindholdet varierer også med dybden under havoverfladen. Kystvand har lavt saltindhold, medens stillestående, dybere havvand har et højere saltindhold. Det gælder ikke alene for et havområde som Nordsøen; også i fx Storebælt, Øresund og Østersøen er der variationer i saltindholdet.

Tabel 1. Typiske, gennemsnitlige koncentrationer af ioner i to havområder omkring Danmark. Koncentrationerne er anført i enheden g/kg havvand. Værdierne repræsenterer gennemsnittet for hvert havområde. Inden for hvert havområde kan der være stor variation i havvandets saltindhold. Kilde DIN 4030-69.

Ionetype	Betegnelse	Østersøen	Nordsøen
Calcium	Ca <sup>++</sup>	0,05	0,43
Chlorid	Cl <sup>-</sup>	3,96	16,85
Kalium	K <sup>+</sup>	0,07	0,55
Magnesium	Mg <sup>++</sup>	0,26	1,11
Natrium	Na <sup>+</sup>	2,19	12,10
Sulfat	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	0,58	2,22

Havvand indeholder desuden luft. Af særlig interesse for armeret betons holdbarhed er fri ilt O<sub>2</sub> og fri, dvs. aggressiv carbondioxid CO<sub>2</sub>. Indholdet af ilt vil typisk være 6-10 ml/kg havvand, medens iltholdet i atmosfæren typisk er 210 ml/liter luft ved 1 atmosfæres tryk. Ilden har betydning for armeringens korrosion, idet tilstedeværelsen af ilt er en nødvendig betingelse for, at korrosion af armeringsstænger kan finde sted.

Indholdet af fri carbondioxid kan undertiden blive så højt, at havvand alene af den grund kan blive aggressivt over for beton.

Havvands indhold af sulfat SO<sub>4</sub><sup>--</sup> og magnesium Mg<sup>++</sup> har tidligt givet anledning til, at betonteologer har studeret den form for sulfatangreb på beton, som sammenfattende benævnes havvandsangreb.

Hærdnet betons bestandighed i havvand er først og fremmest afhængig af tætheden. Er beton tæt, så havvand kun kommer i berøring med overfladen, er den kemiske omdannelse af betonen ringe.

Er betonen derimod porøs eller har overfladedefekter, vil havvandet trænge ind i betonen og dér omdanne betonen kemisk. Der sker en ionbytning, således at calciumioner i betonens kitmasse erstattes med magnesiumioner, dvs., at betonens calciumhydroxid Ca(OH)<sub>2</sub> erstattes med magnesiumhydroxid Mg(OH)<sub>2</sub>, der er gelagtig i konsistens; dette svækker betonen. Er der ikke til betonen anvendt sulfatbestandig eller moderat sulfatbestandig cement med tilsætning af mikrosilica, går havvandets sulfationer også i forbindelse med kitmassens calciumioner og danner gennem forskellige faser gips, der ved udvidelse sprænger kitmassen, så den smuldrer.

Tidligere blev det stærkt anbefalet at anvende sulfatbestandig cement til havvandskonstruktioner. Det anbefales dog ikke mere. I stedet anbefales det at gøre betonen tæt (lavt v/c-forhold og lille defektintensitet) samt anvende mineralske tilsætninger som flyveaske og mikrosilica. Sulfatbestandig cement

som eneste bindemiddel i beton synes at være mindre chloridbremsende end beton med en ikke-sulfatbestandig cement.

### *Industrispildevand*

Fabrikker er pligtige at sikre, at bortledt spildevand ikke er til gene for omgivelserne. Her er der næppe tænkt på betons bestandighed over for spildevand.

Kloakker, der fører afløb fra syreforbrugende fabrikker, fx forchromningsanstalter, vil være udsat for hurtig nedbrydning, navnlig hvis spildevandet er varmt. Syrer angriber hærdnet beton, især saltsyre, salpetersyre, chromsyre og eddikesyre, som danner let opløselige kalksalte. Også garvesyre, mælkesyre og surt øl gør skade.

Kloakvand er i reglen svagt alkalisk og af den grund normalt uskadeligt for beton. Kloakvand kan dog i nogle tilfælde være rigt på fri carbondioxid og svovlbrinte; dette kan medføre en ikke ringe skade på hærdnet beton.

Kloakvand med indhold af fede olier (fedtsyre), fx fra slagteraffald, angriber hærdnet beton, idet fedtsyren indgår kemisk forbindelse med kitmassens calciumhydroxid under dannelse af kalksæbe. Angrebet viser sig ved, at kitmassen får gabende revner og senere falder sammen.

Hvor beton kan blive påvirket af spildevand, må dets kemiske sammensætning kendes, før man kan vurdere indflydelsen på hærdnet beton. Ved vurderingen kan man få hjælp i Beton-Teknik 3/03/1974: *Beton i aggressivt miljø* og DIN 4030: *Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase*.

### *Omgivende vands temperatur*

Også ved havvandsangreb gælder det, at den kemiske reaktionshastighed øges til det dobbelte, når temperaturen øges med 10 °C. Denne regel gælder for angreb af magnesium, sulfat og chlorid. I Danmark er havvand normalt ret køligt, men ved udledning af kølevand fra kraftvarmeanlæg kan havvands-temperaturen nå tropiske værdier.

Basisbetonbeskrivelsen anser varmt, chloridholdigt vand (ca. 30 °C) i svømmebassiner for at være særlig aggressivt over for armeret beton. Derfor skriver basisbetonbeskrivelsen side 7 følgende:

»Konstruktioner som svømmebassiner ... er eksempelvis ikke omfattet af basisbetonbeskrivelsen«.

### **Basisbetonbeskrivelsen**

Basisbetonbeskrivelsen er alene obligatorisk for de sædvanlige bygningskonstruktioner, som er statsejet eller statsstøttet; anlægsarbejder og landbrugsbyggeri er ikke omfattet af basisbetonbeskrivelsen. Mange private byggerier er dog blevet opført efter basisbetonbeskrivelsens krav. Efter harmoniseringen i

1990 af betonnormen DS 411 med basisbetonbeskrivelsen er der indført et ensartet kravkompleks til betonkonstruktioner i Danmark, på nær krav om kontrol ved mikrostrukturel analyse.

Da det forudsættes, at læseren er fortrolig med krav i basisbetonbeskrivelsen, skal der kun gives en kortfattet oversigt over de stillede krav i de tre miljøklasser, som basisbetonbeskrivelsen forudsætter, nemlig:

- *Passiv miljøklasse*, dvs. tør, ikke-aggressiv atmosfære, som armeret beton er bestandig overfor.
- *Moderat miljøklasse*, dvs. fugtig, ikke-aggressiv atmosfære og strømmende eller stillestående ikke-aggressivt ferskvand.
- *Aggressiv miljøklasse*, dvs. fugtig salt- og røgholdig atmosfære samt hav- og brakvand.

Der kan forekomme særlig aggressive miljøer, hvor basisbetonbeskrivelsens krav ikke kan sikre beton en tilfredsstillende holdbarhed. I sådanne tilfælde må det overvejes, om beton er et hensigtsmæssigt byggemateriale eller om der kan sikres en passende funktionstid ved at foreskrive strengere krav end i basisbetonbeskrivelsen til beton i aggressiv miljøklasse. DS 411 giver følgende vejledning for disse tilfælde:

»Særlige foranstaltninger, der kan foreskrives, hvor særligt aggressive miljøer forekommer, kan omfatte udvendige membraner, betonteknologiske forholdsregler, herunder valg af cement, tilslagsmaterialer og w/c-forhold, geometriske forholdsregler, herunder valg af dæklag, og endelig valg af særlig korrosionsresistent armering«.

### *Passiv miljøklasse*

Der stilles i sagens natur ikke holdbarhedsmæssige krav til beton i passiv miljøklasse, bortset fra, at tilslagsmaterialer ikke må have uacceptabel humusreaktion efter prøvningsmetoden DS 405.3. Derimod stilles der styrkemæssige krav, afhængig af betonens udnyttelse i den pågældende konstruktionsdel.

De problemer, man møder, er hovedsageligt forkert miljøklasseplacering af konstruktionsdele, som retteligen burde have været placeret i moderat eller aggressiv miljøklasse. Som eksempler kan følgende nævnes:

- *Indendørs terrændæk af beton med diffusionstæt belægning*. Denne beton kan få en fugtighed på ca. 95 pct. RF, jf. SBI-anvisning 178: *Bygningers fugtisolering* (1993) og skal derfor placeres i moderat miljøklasse.
- *Jorddækkede betonfundamenter i stærkt aggressivt grundvand*. Denne beton udsættes for en kalkopløsende påvirkning og skal derfor placeres i aggressiv miljøklasse. Undertiden er miljøet så aggressivt, at påvirkningen skal rubriceres som særlig aggressiv, således at konstruktionsdelen end ikke er omfattet af basisbetonbeskrivelsens krav.

### *Moderat miljøklasse*

Der stilles krav til beton i moderat miljøklasse, som skal sikre imod revnedannelse af betonen som følge af alkalireaktion og korrosion af armeringen som følge af betonens carbonisering.

Kan betonen blive udsat for frost, stilles der desuden krav, som skal sikre betonens kitmasse (indblandet luft) og stentilslag (porøsitet) imod frostska-der. Krav om indblandet luft i kitmassen for beton til frilagte facader kan dog undlades.

### *Aggressiv miljøklasse*

Der stilles krav til beton i aggressiv miljøklasse, som skal sikre imod revnedannelse af betonen som følge af alkalireaktion og korrosion af armeringen som følge af chloridindtrængning i betonen, fx som følge af glatførebe- kæmpelse med chloridholdige tørsalte.

Kan betonen blive udsat for frost, stilles der desuden krav, som skal sikre betonen imod frostska-der.

### **Aktuelle betonnormer**

Ved syn og skøn kan betonnormen, enten fra 1973 eller fra 1984(90), være aktuel, samt naturligvis basisbetonbeskrivelsen. Ved 5-års eftersyn er basisbetonbeskrivelsen selvfølgelig aktuel.

Danske betonnormer er affattet under den forudsætning, at normbrugere har den fornødne tekniske indsigt. Man kan afvige fra normens krav, såfremt det dokumenteres, at afvigelsen er forsvarlig. Indtil betonnormen fra revisionen i 1990 var der kun få talbaserede krav i danske betonnormer. Herved afviger tidligere danske betonnormer på væsentlig måde fra basisbetonbeskrivelsen (og fra mange udenlandske betonnormer).

De konkrete talmæssige krav skulle tidligere formuleres i bygningsdelbeskrivelsen for den aktuelle betonkonstruktion. Man mener, at den manglende holdbarhed af beton fra den periode netop har sin rod i dette forhold, og dette motiverede basisbetonbeskrivelsens fremkomst.

### *Konstruktive forhold*

Medens betonbeskrivelsen alene stiller holdbarhedsmæssige krav, findes der i betonnormerne konstruktive krav og brandmæssige sikkerhedskrav. Krav til fx armeringsdæklag har varieret væsentligt fra udgave til udgave af betonnormen, jf. Beton 6: *Betonkrav og -praksis*, SBI 1989.

### **Projektmateriale**

Som en del af et bygværks projektmateriale udarbejder den projekterende tekniker normalt en betonbeskrivelse med en tilhørende generalnote. For hver

bygningsdel klarlægges miljøpåvirkningerne, hvorefter miljøklasse og eventuelle supplerende krav fastlægges.

I bygværkets projektmateriale kan der nu stilles éntydige og operationelle krav til betonens delmaterialer, sammensætning, transport, udstøbning, komprimering og efterbehandling. Kravene skal desuden være suppleret med angivelse af prøvningsmetode og beslutningsregler for accept/forkastelse.

Betonbeskrivelsen og generalnoten skal på fornøden måde supplere betonnorm og eventuelt basisbetonbeskrivelsen, som i sin helhed var gældende for visse bygningskonstruktioner fra 1987, og som på nær enkelte undtagelser har været en del af betonnormen DS 411 fra 1990.

# Eftersyn og undersøgelser

Bliver det af en eller anden grund aktuelt at vurdere, om betonens tilstand er acceptabel i henhold til de stillede krav, vil det kunne ske ved eftersyn og undersøgelse af betonen i den pågældende konstruktion.

## Formål med eftersyn og undersøgelser

Eftersyn af betonkonstruktioner og betonundersøgelser kan udføres på forskellige niveauer, alt efter behovet i den enkelte sag. Ofte deler man eftersyn af bygværker i følgende tre typer:

- *Løbende eftersyn.* Formålet er at sikre, at bygværkets funktionssikkerhed til enhver tid opretholdes, og at begyndende betonskader konstateres i tide. Løbende eftersyn foretages normalt ved betonukyndige personer, fx viceværter, for hvem eftersyn kun er en lille del af deres samlede arbejde.
- *Generaleftersyn.* Med intervaller på 3-5 år bør der gennemføres et eftersyn ved professionelt mandskab, ofte fra rådgivende ingeniørfirmaer.
- *Særeftersyn.* Motiveret af resultater af generaleftersyn eller af manglende konklusioner af generaleftersyn, kan særeftersyn inkl. betonundersøgelser af en eller flere bygningsdele komme på tale. Disse betonundersøgelser, der normalt udføres i konstruktionen eller på laboratoriet, kan foretages på forskellige niveauer, alt efter formålet med undersøgelsen.

## Nødvendig dokumentation fra byggeriets opførelse

I forbindelse med 5-års eftersyn og ved visse syns- og skønssager er der krav om dokumentation af betonens egenskaber og karakteristika i udførelsesstadiet. Nødvendig dokumentation fra bygværkets opførelse vil kunne findes som:

- Betonbeskrivelser med tegninger og generalnote.
- Entreprisekontrakt.
- Byggemødereferater.
- Udfyldte betonblanketter.
- Materialecertifikater.
- Fyldestgørende dokumentation for kontrol- og deklarationsordninger.
- Udfyldte kontroljournal-blanketter.
- Afleveringsdokumenter og rapport om mangelfhjælpning.
- Rapporter fra 1-års og eventuelt 5-års gennemgang.

## Procedure, hvis dokumentation mangler

Hvis der ikke foreligger fyldestgørende dokumentation i projekt materialet, stilles der store krav til særeftersynet og især til betonundersøgelserne. I kapitlet »Dokumentation og undersøgelser« omtales de muligheder, der foreligger i disse tilfælde.

De betonprøver og de betonundersøgelser, som i givet fald skal indgå i et særeftersyn, skal supplere den foreliggende dokumentation og søge at erstatte den manglende dokumentation. Derfor afhænger betonundersøgelsens omfang af, hvor megen dokumentation, der mangler og af, hvad særeftersynet ellers bringer for dagen.

På basis heraf fastsættes betonprøvernes antal og fordeling i bygværket, dvs. efter:

- Formål med betonundersøgelsen.
- Eksisterende dokumentations omfang.
- Resultat af særeftersynet.

## Rapportering

Resultatet af eftersyn og betonundersøgelser præsenteres i en rapport, der normalt anbefales at have følgende inddeling:

- Resumé.
- Problemstilling.
- Eksisterende dokumentation.
- Inspektion.
- Prøvningsomfang og prøveudtagning.
- Tolkning af observationer.
- Konklusion.

En rapport om eftersyn og undersøgelser bør være forsynet med fotodokumentation og kopi af fyldestgørende dokumentation fra bygværkets opførelse.

# Undersøgelse af hærdnet beton

Forud for igangsættelse af undersøgelse af hærdnet beton, i konstruktionen eller i laboratoriet, skal der foretages en planlægning. Der skal blandt andet tages stilling til følgende:

- Prøvningsmetoder.
- Kontrolafsnit for udtagne betonprøver.
- Betonundersøgelsens omfang.
- Beslutningsregler.

I det følgende kommenteres disse emner kort, og der bringes i figur 2-10 en serie fotografier og diagrammer med relation til diverse undersøgelser.

## Prøvningsmetoder

Enhver målebaseret kontrolprøvning har til formål at frembringe resultater til en vurdering af de målte egenskaber og karakteristika i forhold til stillede krav eller forventninger. Det sker for beton på en af følgende måder:

- *Kontrol ved alternativ måling.* Alternativ måling giver alternative observationer, enten »ja« eller »nej« til kravets opfyldelse. Der foretages en prøvning af, om en aktuel egenskab eller et karakteristikum ved måleobjektet opfylder et stillet krav eller ej. Typisk er således styrkevurdering ved en ikke-destruktiv prøvning, jf. DS 423.1.
- *Kontrol ved kontinuert måling.* Kontinuert måling giver observationer, kontinuert over måleområdet. Der gives en talmæssig beskrivelse af måleobjektets egenskaber og karakteristika, og de opnåede observationer vurderes efter en given beslutningsregel. Typisk er styrkevurdering ved en destruktiv prøvning, jf. DS 411.

Valg af prøvningsmetode afhænger ikke alene af formålet med prøvningen, men også i høj grad af måleobjektet. DS 411 og DS 423.1 specificerer, at styrker kontrolleres med kontinuert måling, medens andre egenskaber og karakteristika for beton kontrolleres ved alternativ måling.

## Måleusikkerhed

Usikkerhed ved en prøvningsmetode viser sig blandt andet ved, at gentagne målinger på et måleobjekt, hvis relevante egenskaber og karakteristika er uden usikkerhed af betydning, giver lidt forskellige værdier, hver gang man måler. Det er da af helt afgørende betydning for prøvningens pålidelighed, at man her

skelner mellem *usikkerhed ved måleobjektet* og *usikkerhed ved prøvningsmetoden*. Specielt ved prøvning af skadet beton vil usikkerheden af betonens egenskaber og karakteristika ofte vise sig være betydelig på grund af tilstedeværelsen af de opståede defekter (skader).

Man opdeler usikkerheden ved prøvning i *grove fejl*, *systematiske fejl* og *stokastiske fejl*. Grove fejl skal undgås ved kvalitetssikring og der skal korrigeres for systematiske fejl ved enhver prøvning.

## Grove fejl

Eksempler på grove fejl er følgende:

- *Fejlaflæsning*, fx ved forkert aflæsning på et manometer.
- *Regnefejl*, fx ved beregning af en prøvecylinders trykstyrke.
- *Fejlskrivning*, fx ved nedskrivning af måleresultater eller andre observationer.
- *Misforståelser*, fx sammenblanding af prøveemner.

Grove fejl søges undgået ved gentagne *målinger* og *kvalificeret prøvningspersonale*. Ofte er en grov fejl så stor, at den forholdsvis let bliver opdaget af et erfarent personale, enten fordi observationen virker »usandsynlig«, eller fordi gentagelser af målingen giver et helt andet resultat.

## Systematiske fejl

Der kan være mange årsager til systematiske fejl ved prøvning af beton. Der kan imidlertid altid korrigeres for systematiske fejl, blot man kender deres natur. Man kan derfor med rimelighed forlange, at en godt indarbejdet prøvningsmanual indeholder instruks om, hvorledes der korrigeres for systematiske fejl ved den pågældende prøvningsmetode.

Man kan altså definere systematiske fejl som sådanne, der *på bekendt måde afhænger af årsager*, hvis tilstedeværelse man er i stand til at konstatere.

Da man ofte kender lovene for systematiske fejl, kan man *beregne den korrektion*, der fx skal adderes til måleresultatet, for at befri det for den systematiske fejl. Det er dog ikke altid, at man kan korrigere ved beregning; undertiden skal der foretages en *supplerende måling*, som sammen med den egentlige måling »renser« observationen for en systematisk fejl.

Et typisk eksempel herpå er måling af ændringer af en revnes vidde med tiden. Benytter man en to-punktsmåling (ét målepunkt på hver side af revnen), da vil man over en længere periode foruden revneviddeændringen også måle betonens forkortelse eller udvidelse som følge af ændringer i betonens temperatur, fugt, spændinger mv. Det er ikke muligt at korrigere for betonens tøjningsændring som følge af disse komplicerede forhold. Man kan imidlertid anvende en måleroset, fx en tre-punktsmåling med de to punkter placeret



subparallelt med revnen og det tredje punkt placeret på den anden side revnen, jf. figur 2. Ved at måle på de to punkter, der ikke spænder over revnen, kan betonens tøjningsændring siden sidste måling bestemmes. Derefter kan revneviddeændringen bestemmes ved »fremskæring«, idet der samtidig foretages en korrektion af resultatet for tøjningsændringer i betonen.

Andre eksempler på systematiske fejl er nulpunktsfejl på manometre eller ukorrekt manometerinddeling.

Der kan også opstå systematiske fejl ved daglig brug af måleinstrumenter. Før der fx udføres en udtræksprøvning med CAPO-test, skal afstanden fra underkanten af fræsediamanten til fræsehuset være  $25,0 \pm 0,1$  mm. Kun hvis dette er tilfældet, indfræses CAPO-test inserten i den korrekte afstand fra overfladen. Udtrækskraften er proportional med kvadratet på afstanden fra CAPO-test insert til betonoverfladen, og blot en mindre afvigelse fra den korrekte værdi vil bevirke en systematisk fejl. Derfor foreskriver prøvningsmanualen check af CAPO-test-udstyret umiddelbart før og efter brug.

*Figur 2. Måleroset med tre måletappe til måling af revneviddeændringer. De to måletappe er placeret subparallelt med revnen og den tredje måletap er placeret på den anden side revnen. Afstanden mellem måletappene måles med et tilstrækkelig nøjagtigt måleinstrument med passende tidsintervaller, jf. figur 3. Ud fra måletappenes placering kan man beregne revneviddeændringen (ved »fremskæring«). Man kan også korrigere for betonens fugt- og temperaturbetingede tøjninger, idet disse tøjninger regnes for indbyrdes ens mellem de tre måletappe. Foto: AEC.*



*Figur 3. Måling af afstanden mellem to målepunkter af en måleroset, jf. figur 2. Målingen sker med et ekstensometer, her af fabrikat Demec med målelængde 50 mm. Længdeændringen mellem de to målepunkter forstørres gennem en udveksling og lændeændringen aflæses på et måleuret. Deformationer kan bestemmes med en nøjagtighed på ca. 0,002 mm. Langtidsstabiliteten er god, når instrumentets visning jævnligt kontrolleres ved at måle på en referencestang, hvis længde er temperatur-uafhængig. Det kræver nogen øvelse at udnytte instrumentets fulde målenøjagtighed. Foto: AEC.*



### Stokastiske fejl

Når man har sikret sig imod grove fejl og har korrigeret for de systematiske fejl, så er der stadig en vis usikkerhed ved prøvningen til stede. Årsagerne hertil kan kun vanskelig (og ofte slet ikke) opspores eller følges i den kæde, der forbinder årsagerne med deres indflydelse på observationerne.

Den usikkerhed, der således bliver tilbage, benævnes stokastiske fejl. De er karakteriseret ved, at der optræder en tilfældig afvigelse mellem observationerne ved gentagne målinger under ens betingelser.

De stokastiske fejl tages i regning i forbindelse med styrkemåling ved at forudsætte, at de er logaritmisk normalfordelte, jf. DS 411. Derimod forudsættes der en fordelingsfri hensyntagen af de stokastiske fejl ved prøvning af andre egenskaber og karakteristika for beton end styrker, jf. DS 423.1.

### Valg af prøvningsmetode

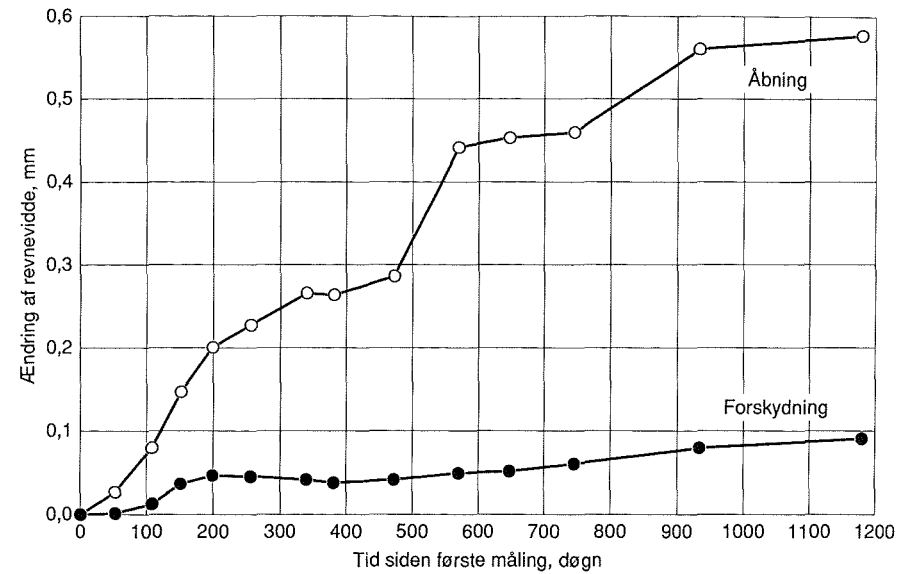
Det er ikke altid muligt at vælge mellem flere forskellige prøvningsmetoder til brug for vurdering af betons egenskaber og karakteristika. Hvis valgmuligheden eksisterer, må prøvningsmetoden vælges under hensyntagen til den nøjagtighed, der kræves af observationen. Både et for groft- og et for fintfølede måleinstrument vil volde vanskeligheder. Normalt anbefales det at anvende målemetoder med en usikkerhed, der er ca. en trediedel af den usikkerhed, som de relevante egenskaber og karakteristika for måleobjektet har.

### Repetérbarhed

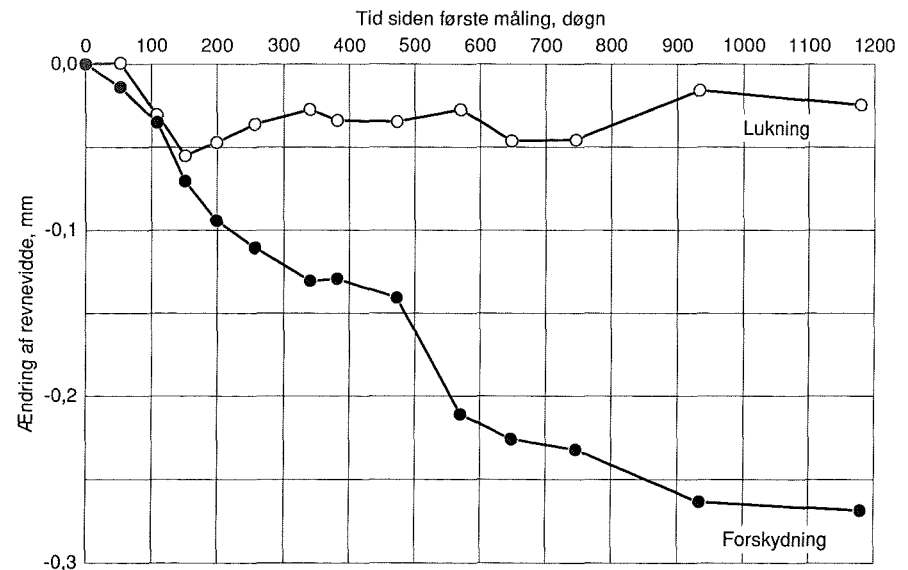
Den egenskab ved prøvningsmetoden, at man ved *gentagne målinger* under *samme fysiske betingelser*, med *samme måleinstrument* og med *samme operatør*, får samme resultat inden for prøvningsmetodens måleusikkerhed, kaldes repetérbarhed. En prøvningsmetodes repetérbarhed har betydning ved gentagelsesmålinger for blandt andet derigennem at kunne afsløre eventuelle grove fejl.

### Reproducérbarhed

Den egenskab ved prøvningsmetoden, at man ved *gentagne målinger* under *tilstræbt samme fysiske betingelser*, på *samme måleobjekt* med *samme prøvningsmetode*, men med *forskellige måleinstrumenter*, på *forskellige tidspunkter* og med *skiftende operatører*, får samme resultat inden for prøvningsmetodens måleusikkerhed, kaldes reproducérbarhed. En prøvningsmetodes reproducérbarhed har betydning ved store måleserier, hvor flere måleinstrumenter og skiftende operatører indgår.



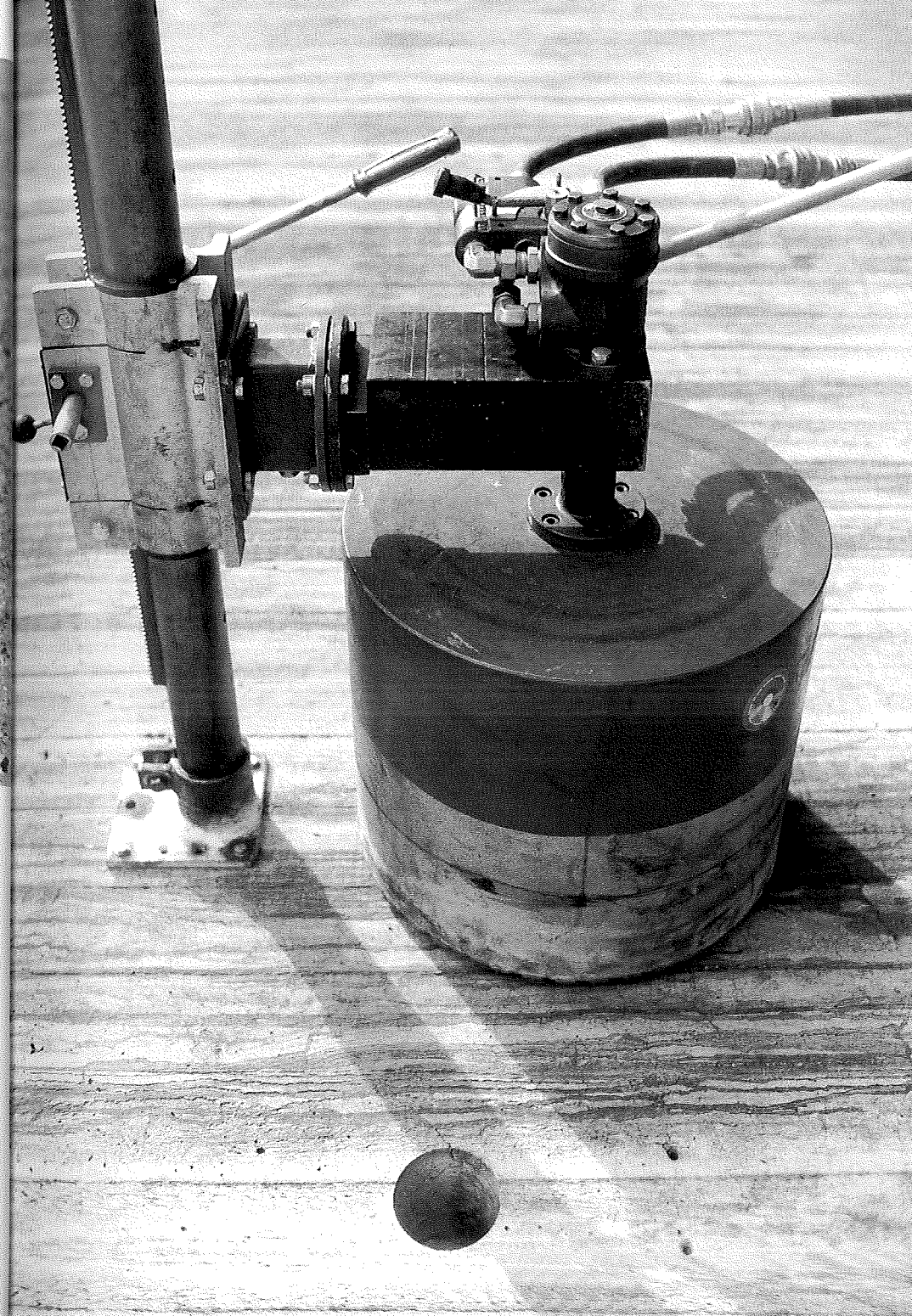
Figur 4. Eksempel på graf for en revnes viddeændring og forskydning versus tid, målt med en 3-punkts målerose, jf. figur 2. Her er der registreret stor åbning og lille forskydning, sml. figur 5. Revnen skyldes igangværende alkalireaktion. Bemærk sæsonsvingningerne. Kilde: AEC.



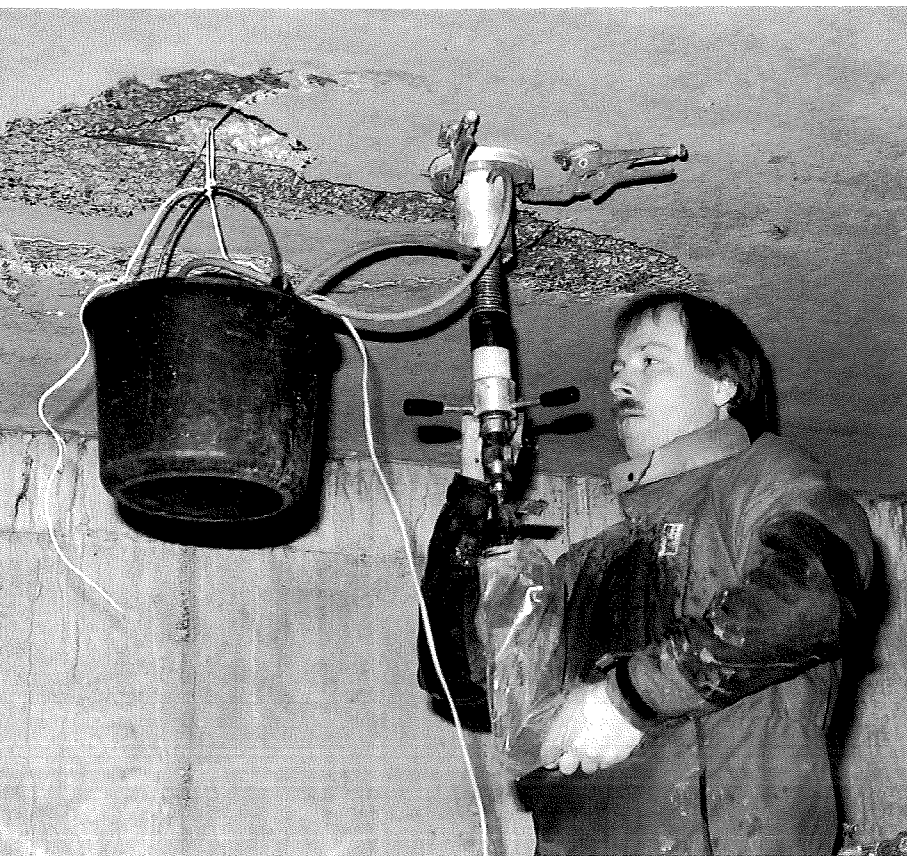
Figur 5. Eksempel på graf for en revnes viddeændring og forskydning versus tid, målt med en 3-punkts målerose, jf. figur 2. Her er der registreret lille lukning og stor forskydning, sml. figur 4. Revnen skyldes igangværende alkalireaktion. Bemærk sæsonsvingningerne. Kilde: AEC.



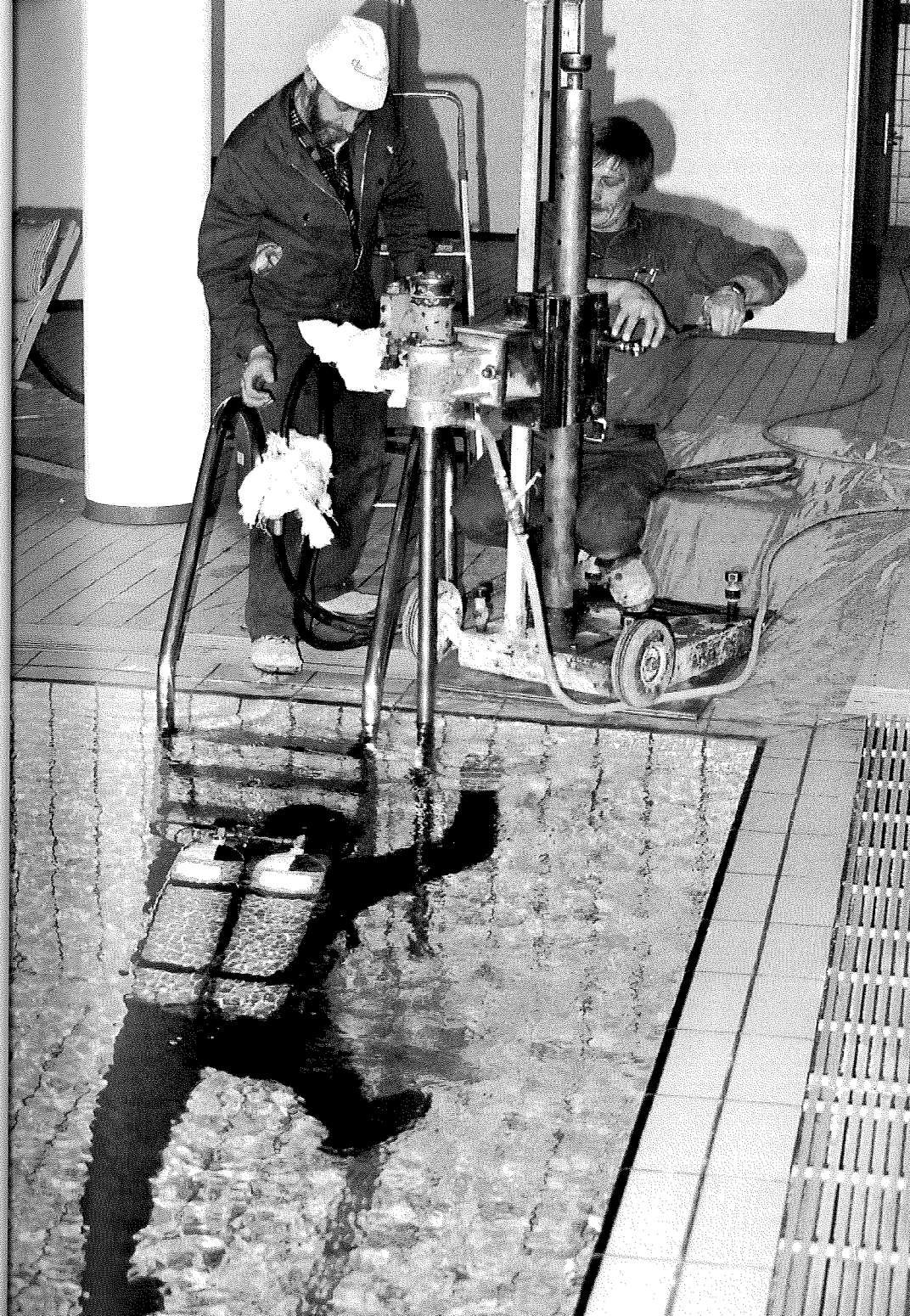
Figur 6. Til måling af vidden af en makrorevne på en betonoverflade er det simplest at anvende en revneviddemålestok. En revneviddemålestok kan med fordel anvendes til revner med vidde på 0,1-5,0 mm og er hurtig og bekvem at betjene. Til måling af makrorevner med vidde på 0,05-0,50 mm på (glatte) betonoverflader og planslib kan en revneviddelup anvendes. En revneviddelup er mere omstændig at anvende end en revneviddemålestok. Revneviddeluppen findes i forskellige versioner og anvendes fortrinsvis i laboratoriet, medens revneviddemålestokken anvendes ved bygværks-inspektion. Foto: AEC.



Figur 7. Valg af en borekernes diameter afhænger af formålet med borekernens undersøgelse. Defekter og omdannelser i betons kitmasse og mørtelfraktion kan normalt ske ved eksamination af borekerner med diameter ca. 75 mm. Skal et udbredt revneforløb i beton og fx disse revners relation til stenfraktionen fastlægges, skal der eksamineres borekerner med betydeligt større diameter. Billedet viser et hul efter en Ø 75 mm borekerne og udboring af en Ø 500 mm borekerne. Foto: AEC.



Figur 8. For de fleste betonundersøgelser i Danmark vil det være tilstrækkeligt at basere betonundersøgelsen på Ø75 mm borekerner. Derved kan man anvende et boreudstyr, som er let at montere, håndtere og transportere. Foto: AEC.



Figur 9. Der kan forekomme situationer, hvor normalt boreudstyr ikke opfylder de betingelser, hvorunder betonundersøgelsen ønskes gennemført. I dette tilfælde skulle der udbores betonkerner fra bundpladen af et svømmebassin, men af forskellige tekniske grunde ønskede man ikke at tømme bassinet under kerneudboringen. Betonkernen blev derfor udboret under vand med assistance af en dykker og under anvendelse af trykluft som drivmiddel for boreudstyret. Foto: AEC.

### Robusthed

Måling af egenskaber og karakteristika for beton i konstruktioner, hvad enten det sker på konstruktionen eller i laboratoriet, stiller store krav til måleinstrumenternes robusthed, fx over for fugt, støv og slag.

### Destruktive og ikke-destruktive prøvningsmetoder

Prøvning af beton i konstruktioner skal så vidt muligt foregå således, at bygningsdelene ikke derved beskadiges eller således, at der kan foretages en simpel og forsvarlig reparation.

Skal man fx foretage en bestemmelse af trykstyrken i en søjle med et 175×175 mm tværsnit, kan man ikke udbore flere Ø 100 mm borekerner af denne søjle til bestemmelse af trykstyrken af de udborede betonprøver, uden at søjlen bliver beskadiget. Derfor må en anden prøvningsmetode vælges.

Ved udboring af betonkerner fra bygningsdele skal man selvsagt påse, at armeringsstænger ikke bores over; derfor skal armeringens placering fastslås ved en metaldetektor, inden udboringen iværksættes.

### Kontrolafsnit

Ethvert betonbyggeri har nogle naturlige grupper, for hvilke det gælder, at betonen ved udførelsen kan have haft forskellige egenskaber, karakteristika, udstøbningsbetingelser, lagringsbetingelser etc. Nogle store grupper er fx in-situ støbte bygningsdele og prefab betonelementer. Også inden for hver af disse grupper kan der være forskel, fx mellem trykstyrken af beton i fundamenter, søjler, plader og vægge. Det turde være klart, at man ikke under ét kan kontrollere og vurdere beton fra forskellige grupper i et byggeri, hvor egenskaber, karakteristika og betonarbejde er forskellige. Man kan således fremhæve kontrolafsnit bestående af altangangselementer, facadeelementer, trappekonstruktioner eller betonbelægninger som mulige, naturlige afsnit. Ved et eftersyn er det eftersynsfirmaet, der vælger kontrolafsnit. Jf. DS 423.1 gælder følgende:

*Et kontrolafsnit må ikke vælges således, at det indeholder flere forskellige betontyper eller beton, der har været udsat for meget forskellige udstøbningsbetingelser og/eller efterbehandlingsmetoder.*

Opdeling ved eftersyn af udendørs beton i en bygningskonstruktion, der består af betonfacader, facadesøjler med konsoller og altangangselementer, skal således mindst omfatte tre kontrolafsnit; ét for hvert af de tre typer konstruktionsdele. Selv om betonens egenskaber (fx v/c-forhold, trykstyrke) og karakteristika (fx cementtype, cementindhold, tilsætningsstoffer) kunne tænkes at være ens, vil støbebetingelserne og dermed komprimeringen være forskellige.

Ved fastlæggelse af størrelsen af et kontrolafsnit for hærdnet beton må man tage konsekvensen ved en forkastelse (dvs. konstatering af uacceptable egenskaber) i betragtning. En inddeling i betonkontrolafsnit skal således tilgodes, at disse står i rimeligt forhold til hovedkonstruktionen. I mange henseender er en kontrolafsnitsinddeling, der følger afgrænsede konstruktionsdele, at foretrække.

I det følgende gennemgås forskellige krav til valg af kontrolafsnit samt de bestemmelser, som findes i DS 423.1, og som har vist sig praktiske i forbindelse med prøvning af hærdnet beton i konstruktionen.

*Figur 10. Måling af elektro-kemisk potential (ekp-måling) giver mulighed for at vurdere, hvor der i en armeret betonkonstruktion er størst risiko for, at der foregår korrosion, og hvor der derfor skal foretages en nærmere inspektion. Dette emne behandles dog ikke i nærværende publikation. Foto: AEC.*



### Generelt om kontrolafsnit

Kontrolprøvning og vurdering af observationer i forbindelse med konstruktioner må ske i geometrisk opdelte kontrolafsnit. Opdeling i kontrolafsnit afhænger i nogen grad af, hvad der skal kontrolleres; det omtales nærmere i det følgende.

Ved eftersyn og undersøgelse af beton i konstruktioner er det ofte praktisk, hvis der i projektmaterialet findes dokumentation for hvilken opdeling i kontrolafsnit, der har været anvendt ved bygværkets opførelse. Derved kan man anvende de samme kontrolafsnit, som blev anvendt ved opførelsen.

Eftersynsfirmaet kan altid underopdele et givet kontrolafsnit. Et kontrolafsnit accepteres, hvis *alle* dets underopdelte kontrolafsnit accepteres. Ved at underopdele kontrolafsnit kan prøvningsudgifterne ganske vist blive dyrere, men konsekvensen ved forkastelse af beton i et lille kontrolafsnit bliver naturligvis derved begrænset. Det er eftersynsfirmaets opgave at finde den optimale størrelse på et givet kontrolafsnit og eventuelt foreslå en underopdeling.

### Bygværkers opdeling i kontrolafsnit

Opdeling af konstruktioner i kontrolafsnit skal være fastlagt, *før* eftersyn og undersøgelser igangsættes. Efter DS 423.1 fastlægges følgende hovedprincipper for fastlæggelse af betonkonstruktioners kontrolafsnit ved opførelsen af et bygværk:

- Betonens materialeegenskaber og andre karakteristika skal være tilstræbt ens i kontrolafsnittet.
- Et kontrolafsnit må ikke i henhold til DS 423.1 indeholde over 200 partier (vedrørende definitionen på partier, se nedenfor).
- Kontrolafsnit skal støbes i »ubruds arbejdsgang«, dvs. uden en langvarig afbrydelse. Der må ikke forekomme produktionssændringer eller overgang til anvendelse af andre delmaterialer, fx ændring af tilsætningsstoffer.
- Et kontrolafsnit bør kun undtagelsesvis bestå af forskellige typer konstruktionsdele (dvs. forskellige udstøbningsbetingelser).
- Størrelsen af kontrolafsnittet skal stå i et rimeligt forhold til konsekvensen ved forkastelse (entreprenøren kan dog underopdele kontrolafsnittet). Der må dog her skelnes mellem kontrol af betonens holdbarhedsegenskaber og styrkeegenskaber, jf. DS 423.1.

Foreligger der ved et eftersyn ikke kendskab til de kontrolafsnit, som var gældende ved betonbygværkets opførelse, må eftersynsfirmaet fastsætte kontrolafsnittene på basis af en inspektion af bygværket efter ovenstående retningslinier. Det vil da være mest naturligt at lade kontrolafsnitsinddelingen følge

afgrænsede konstruktionsdele, fx facadeelementer, søjler i én etage, trappeelementer og altangangselementer i hver sit kontrolafsnit.

### Kontrolafsnits delmængder

Når et kontrolafsnit er valgt af eftersynsfirmaet skal det ved kontrolprøvning inden for dette kontrolafsnit vurderes, om de stillede krav til betonen i konstruktionen er opfyldt eller ej. Det sker ved tilfældig udtagning af boreprøver, måling på disse og vurdering af observationer efter fastlagte beslutningsregler. De regler, som gælder herfor, gennemgås i det følgende.

### Partier

Et kontrolafsnit vil altid være opbygget af et antal betonsats. Disse benævnes *partistørrelser*. En partistørrelse er i henhold til DS 423.1 en betonnængde, der er homogeniseret (gjort ensartet) i forhold til resten af kontrolafsnittet. Det kan være en betonnængde, der er blandet på én gang (*én blandesats*) eller tilkørt i én roterbil (*ét læs*). Variationen af betonegenskaber og -karakteristika inden for én betonsats eller ét læs er mindre end fra betonsats til betonsats eller fra læs til læs, dvs. inden for hele kontrolafsnittet.

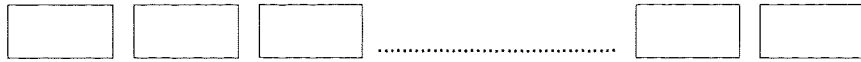
DS 423.1 begrænser et kontrolafsnits størrelse ved at kræve, at kontrolafsnittet højst må indeholde 200 partistørrelser. Dette overskrides sjældent for bygningskonstruktioner.

### Prøver, emner og analyseprøver

Inden for et kontrolafsnit skal der vælges prøver, hvis egenskaber eller karakteristika skal måles. I den forbindelse skal nogle fundamentale begreber slås fast, jf. DS 423.1:

- *Prøver*, der vælges i et kontrolafsnit, skal være repræsentative for dette. Man skal således vælge prøven tilfældigt, spredt over hele kontrolafsnittet, og undlade enhver form for vurdering.
- *Prøveemner* fremkommer af én prøve ved underopdeling, og det er på disse prøveemner, at måling af egenskaber eller karakteristika foretages.
- *Enkeltobservation* er den talmæssige gengivelse af et prøveemnes egenskab eller karakteristikum.
- *Analyseprøve* er den mængde, som udtages af et prøveemne for i laboratoriet at foretage analyser eller målinger.
- *Observation* af en prøves egenskab eller karakteristikum er gennemsnittet af måleresultaterne for prøvens prøveemner.
- *Stikprøve* er mængden af observationer inden for et kontrolafsnit.

I figur 11 er disse begreber vist, på nær begrebet analyseprøve. Ovenstående begreber illustreres herefter ved to eksempler.



Altangang af 36 altangangselementer, her 36 partier og ét kontrolafsnit



7 tilfældigt udtagne altangangselementer blandt de 36 danner her én stikprøve



7 tilfældigt udtagne pulverprøver, én i hvert altangangselement. Pulver fra ét borehul er her ét emne og pulver fra 3 borehuller i ét altangangselement er her én prøve

*Figur 11. Skematisk fremstilling af begrebet prøver og emner ved eftersyn af en altangang, hvor hvert altangangselement er valgt til ét parti. Der er her  $N = 36$  altangangselementer (partier). I  $N = 7$  tilfældigt udvalgte altangangselementer foretages måling på én prøve (af borestøv) for chloridindhold. Én prøve består her af borestøv fra tre borehuller med indbyrdes afstand 50 mm i de yderste 20 mm af betonoverfladen. Borestøvet fra ét hul betegnes et prøveemne og chloridindholdet i et prøveemne betegnes en enkeltobservation. Gennemsnittet af de tre enkeltobservationer i en prøve benævnes en observation. Se i øvrigt kapitlet Eksempel på betonundersøgelse.*

*Eksempel 1.* I et kontrolafsnit, fx en altangang, skal der foretages trykstyrkebestemmelse ved udtræksprøvning med CAPO-test svarende til fire observationer. Hver observation skal være gennemsnittet af to enkeltobservationer. Én enkeltobservation er udtrækskraften (kN) fra én CAPO-test bolt, omsat til den tilsvarende betontrykstyrke (MPa).

Derfor indbores der otte stk. CAPO-test inserts i fire grupper, hver på to stk. (indbyrdes afstand på højst 300 mm og mindst på 200 mm i samme vandrette lag, jf. manualen), tilfældigt spredt i kontrolafsnittet.

Man har altså her fire prøver, hver med to emner. Man får således otte enkeltobservationer og fire observationer for dette kontrolafsnit.

*Eksempel 2.* I et kontrolafsnit udbores tre prøver af betonen til mikrostrukturel analyse. Én prøve består af mindst to stk. borekerner (emner) med diameter 100 mm. Mikrostrukturanalysen udføres på ét tyndslib (analyseprøve) fra betonoverfladen.

Man har altså her tre prøver, hver med to emner og hvert emne består af én analyseprøve. Man får således seks enkeltobservationer og tre observationer for dette kontrolafsnit.

## Prøveudtagning

Stikprøven (mængden af prøver) skal være repræsentativ for kontrolafsnittet. Man skal således ved selve prøveudtagningen undlade enhver form for vurdering og i øvrigt sørge for følgende:

- Prøverne skal vælges tilfældigt, spredt placeret over hele kontrolafsnittet.
- Prøveemnerne skal udtages i overensstemmelse med prøvningsmetoden.
- Prøveemnerne må ikke beskadiges i perioden fra udtagning og indtil måling finder sted.
- Prøveemner, der repræsenterer samme kontrolafsnit og samme egenskaber eller karakteristika, skal behandles ens.

Ved repræsentativ prøveudtagning forstås, at man opnår prøver, der er udvalgt således, at de i alle henseender repræsenterer det betragtede objekt (kontrolafsnit). Først og fremmest skal prøveudtageren være en uvildig person. Dette krav er sværere at opfylde, end man umiddelbart tror. I lutter iver for at være »retfærdig« vil prøveudtageren ofte bestræbe sig for at udvælge middelprøver. Derved opnår man imidlertid kun at få et for gunstigt indtryk af betonens homogenitet.

## Undersøgelsesomfang

Ved eftersyn og undersøgelse af beton i bygværker spiller de økonomiske udgifter en ikke ubetydelig rolle.

For få prøver i et kontrolafsnit giver små prøvningsudgifter, men stor usikkerhed ved vurdering af observationerne. Det kan give betydelige merudgifter ved reparation og eventuelt medføre uberettiget kassation og »justitsmord« ved skønssager og 5-års eftersyn. For mange prøver i et kontrolafsnit medfører store prøvningsudgifter, uden at det måske er berettiget ud fra problemstillingen.

Derfor er planlægning af prøvningen vigtig for eftersynets økonomi. Planlægning af et eftersyn i detaljer kan dog ikke ske uden kendskab til de af betonens egenskaber og karakteristika, som skal bestemmes ved betonundersøgelsen.

## Faseopdeling af betonundersøgelser

En betonundersøgelse bør opdeles i faser. Indledningsvis foretages en orienterende undersøgelse med få prøver og simple prøvningsmetoder som supplement til den visuelle inspektion.

Som eksempel kan det nævnes, at man ved bestemmelse af chloridindhold i en altangang kan starte med at udvælge tre prøver, dvs. to prøver i det mest skadede altangangselements over- og underside samt én prøve i det mindst

skadede altangangselement. Betonprøvernes chloridindhold kan i første omgang bestemmes ved analyse af udboret pulver fra betonoverfladen under anvendelse af RCT-metoden (Rapid Chloride Test); eller måske blot ved en chloridfarveindikator.

På basis af en sådan orienterende undersøgelse kan prøveantallet søges fastlagt ud fra den ønskede nøjagtighed af resultatet. Dernæst kan betonprøvernes chloridprofiler bestemmes. Dybden, hvortil chloridprofilerne skal bestemmes, må i første omgang skønnes.

For større og komplekse bygværker kan det være nødvendigt at dele betonundersøgelsen i op til fire faser, hvis formål eksempelvis kan være:

- *Fase 1. Indledende undersøgelse*, hvor skadetyper og -grader skønnes.
- *Fase 2. Detailundersøgelse*, hvor skadetype, -grader og -omfang detaljeret fastlægges på selektivt udvalgte bygningsdele.
- *Fase 3. Stikprøveundersøgelse*, hvor resultaterne af de første faser søges dokumenteret for hele bygværket; stikprøvens størrelse afhænger af den ønskede nøjagtighed.
- *Fase 4. Totalundersøgelse*, hvor hver enkelt bygningsdels tilstand fastlægges med henblik på valg af udbedringsmetode og -omfang.

### Beslutningsregler

Ved måling i forbindelse med eftersyn og undersøgelser af beton i bygværker får man information om et antal udvalgte betonprøvers egenskaber og karakteristika. Ud fra denne information skal man vurdere, om betonen i det pågældende kontrolafsnit er tilfredsstillende i forhold til de stillede eller forventede krav. Derefter tages en beslutning på basis af denne vurdering. På betonområdet er der to forskellige vurderingsprincipper, nemlig:

- *Kontrol ved alternativ måling* efter DS 423.1.
- *Kontrol ved kontinuert måling* efter DS 411 pkt. 8.1.1.

DS 423.1 anfører, hvor disse former for vurdering skal anvendes.

#### *Kontrol ved alternativ måling*

Kontrol ved alternativ måling er baseret på, at de udtagne prøver ved måling klassificeres som gode (acceptable) eller som dårlige (defekte) i forhold til de stillede eller forventede krav. Antallet af defekte prøver må ikke være større end en vis grænse i forhold til det samlede antal prøver, hvis kontrolafsnittet skal accepteres, jf. DS 423.1.

#### *Defektprocent*

I et kontrolafsnit af fx beton i en altangang vil egenskaber og karakteristika af udtagne prøver variere. Vurderet enkeltvis er det muligt ud fra de stillede eller

forventede krav at sortere prøverne i *defekte prøver* og *acceptable prøver*. Tænker man sig, at *al beton* i kontrolafsnittet blev opdelt i prøver, hvis relevante egenskaber blev målt, kunne man bestemme den *sande defektprocent* i kontrolafsnittet.

Nu sker kontrolprøvning imidlertid på stikprøver. Det betyder, at man ikke bestemmer den sande defektprocent, men derimod et usikkert mål for den sande defektprocent. Anvender man den af stikprøvens bestemte defektprocent som mål for kontrolafsnittets sande defektprocent, kan betonen i kontrolafsnittet blive fejlbedømt; det må der tages passende højde for i formuleringen af beslutningsreglen.

Derfor kan et beslutningskriterium ved kontrol med alternativ måling i princippet fx formuleres på følgende måde:

*Kontrolafsnittets defektprocent skal være mindre end 4 pct., idet sandsynligheden for at godkende kontrolafsnit med større defektprocent ikke må overstige 10 pct.*

En sådan beslutningsregel kan bekvemt formuleres som en tabel. Det er sket i DS 423.1, men dog uden at anvende en fast grænse for sandsynligheden for at godkende et kontrolafsnit med høj defektprocent.

#### *Kontrol ved kontinuert måling*

Kontrol ved kontinuert måling er baseret på, at de udtagne prøver klassificeres ved måling med talbaserede observationer, dvs., at egenskaber og karakteristika af prøverne bestemmes (observationer). Gennemsnit og spredning af disse observationer afgør ved et opstillet godkendelseskriterium, om kontrolafsnittet skal accepteres eller ej.

#### *Hvilke beslutningsregler skal anvendes?*

Alle egenskaber og karakteristika for beton og betonmaterialer, bortset fra karakteristisk styrke, skal vurderes ved kontrol med alternativ måling. Dog kan egenskaber og karakteristika for beton vurderes ved kontrol med kontinuert måling under forudsætning af, at den statistiske fordelingstype er dokumenteret, jf. DS 423.1 afsnit 7.3, men det vil næppe komme til anvendelse ved eftersyn og undersøgelse af beton i bygværker.

Geometriske størrelser (tolerancer, dæklag mv.) skal vurderes som beskrevet i DS 1050 (dette er specificeret i DS 423.1). Betons karakteristiske trykstyrke skal vurderes efter beslutningsreglen i DS 411 pkt. 8.1.1 (dette er specificeret i DS 423.1).

#### *Hvor anvendes kontrol ved alternativ måling?*

Der er to typer observationer, hvor det er nødvendigt at anvende alternativ kontrol, nemlig:



- Egenskaber, der kun kan gives en ja/nej-beskrivelse, fx carboniseringsdybde mindre end 10 mm.
- Egenskaber, hvis statistiske fordeling ikke kendes eller ikke kan etableres uden for store udgifter (alternativ kontrol kræver ikke kendskab til egenskabens statistiske fordeling).

Dertil kommer, at alternativ kontrol ofte anses for mere bekvem, lettere forståelig og mere overskuelig end den anden vurderingsmetode. Derfor udføres vurdering af nogle egenskaber og karakteristika undertiden ved kontrol med alternativ måling frem for kontrol med kontinuert måling, selv om denne var mulig og mere oplysende. I sådanne tilfælde måles egenskaber mv. som til kontrol med kontinuert måling (talmæssig angivelse), men derefter deles observationerne (prøverne) i to grupper; de acceptable og defekte prøver. På dette observationsmateriale udføres så alternativ kontrol.

#### Hvor og hvorfor anvendes kontrol ved kontinuert måling?

Kontrol ved kontinuert måling er en langt stærkere kontrol end kontrol ved alternativ måling, når ellers stikprøvestørrelsen er ens. Det er imidlertid en nødvendig forudsætning for kontrol ved kontinuert måling, at man har kendskab til den statistiske fordeling af de pågældende egenskaber og karakteristika for betonen; det har man ikke for de fleste egenskaber.

Betons trykstyrke har dog været genstand for så omfattende undersøgelser og kontrol, at der er blevet etableret et indgående kendskab til den statistiske fordeling af betons trykstyrke; derfor er det motiveret at foretage styrkekontrol ved kontinuert måling.

DS 411-1984(90) pkt. 8.1.1 anfører en beslutningsregel for kontrol ved kontinuert måling, og tabel 8.1.1 a anfører nødvendige talværdier for beslutningsreglens anvendelse ved stikprøvekontrol, baseret på støbte cylindre og på prøvning på den færdige konstruktion. Om kontrol ved prøveudtagning og statistisk vurdering af observationer siger DS 423.1-1985 pkt.7.1.1 følgende om betons trykstyrke: »Observationer af betons trykstyrke vurderes som beskrevet i DS 411, 3. udgave 1984, 8.1.1«. Hvor trykstyrken af beton i konstruktioner eksempelvis måles ved udtræksprøvning med CAPO-test, skal der således foretages kontrol ved kontinuert måling, idet de i tabel 8.1.1 a under »prøvning på den færdige konstruktion« anførte værdier for variationskoefficienten anvendes.

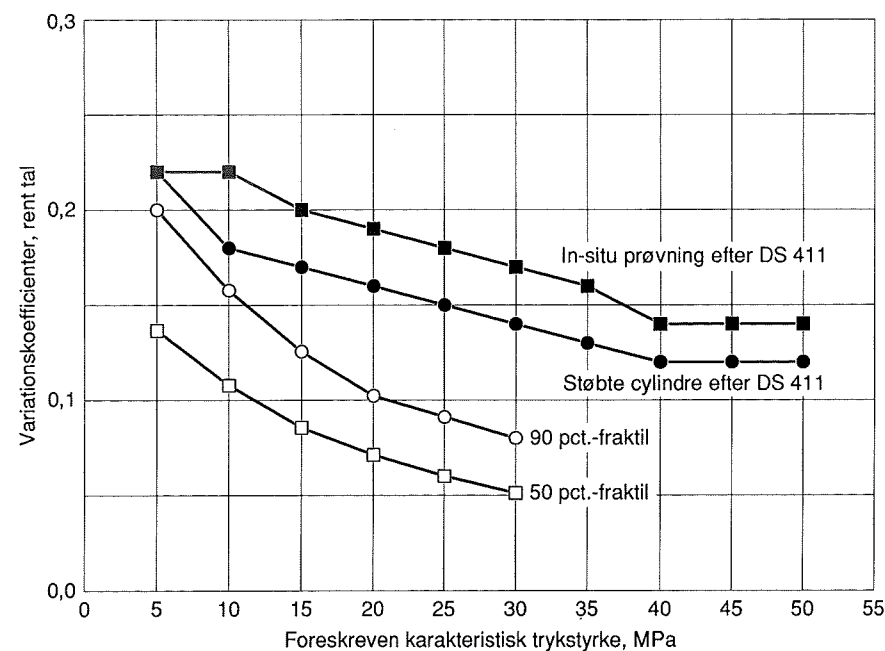
Omfattende måling af betons trykstyrke fra en betonproduktion med tilstræbt ens betonrecept har vist, at trykstyrken med god tilnærmelse vil være *logaritmisk normalfordelt*, dvs., at logaritmen til betonens trykstyrke følger *Gauss' normalfordeling*. Derfor har DS 411 fra 1984 vedtaget at bygge al styrkekontrol ved kontinuert måling på den forudsætning, at betons styrker er logaritmisk normalfordelte.

Trykstyrkens variationskoefficient  $\delta$  udtrykkes ved forholdet mellem trykstyrkens spredning  $\sigma$  og trykstyrkens forventningsværdi  $\mu$  (middelværdien), dvs.  $\delta = \sigma/\mu$ . Variationskoefficienten angives som regel i rent tal, men angivelse i pct. kan dog forekomme.

Etableringen af »Dansk Fabriksbetonkontrol« og en dominerende anvendelse af standardbetoner i henhold til basisbetonbeskrivelsen øgede på væsentlig måde kendskabet til betonstyrkens spredning (eller variationskoefficient), når betonproduktion følger dansk praksis. Her er det især krav til doseringsnøjagtighed for blandede anlæg, som har medført, at man har opnået et så godt kendskab til betonstyrkens spredning.

Analyse af observationer fra Dansk Fabriksbetonkontrols løbende kontrol med betontrykstyrken viste, at betonstyrkens variationskoefficient versus den foreskrevne karakteristiske trykstyrke er opadtil begrænset.

I figur 12 er variationskoefficienten for betons trykstyrke således vist i afhængighed af den foreskrevne karakteristiske trykstyrke på basis af indbe-



Figur 12. Variationskoefficienter, målt af Dansk Fabriksbetonkontrol i 1982. Der er anvendt følgende signaturer: ○ er 90 pct.-fraktile. □ er 50 pct.-fraktile. ● er den udokumenterede variationskoefficient for støbte prøvecylindre efter DS 411. ■ er den udokumenterede variationskoefficient for in-situ prøvning efter DS 411. Kilde: Dansk Fabriksbetonkontrol 1982.

retninger til Dansk Fabriksbetonkontrol for de tre første kvartaler i 1982. Den anførte kurve repræsenterer 90 pct.-fraktilen for variationskoefficienterne, dvs., at 90 pct. af de observerede variationskoefficienter er mindre end svarende til kurveværdierne. I samme figur er der indtegnet de værdier for betontrykstyrkens variationskoefficient, som DS 411 anfører i tabel 8.1.1 a. Disse værdier er, som det ses, valgt større end dét, man kan komme ud for i dansk praksis for betonfremstilling.

Ved i DS 411 fra 1984 at anvende disse værdier som *kendt* variationskoefficient i forbindelse med beslutningsreglen for vurdering af betontrykstyrker, opnås det, at beslutningsreglen bliver overordentlig simpel; væsentligt simple end tilfældet var efter DS 411 fra 1973 med *ukendt* spredning.

Naturligvis er variationskoefficienten statistisk set ukendt, men ved at fastlægge en passende stor værdi for variationskoefficienten, er man på den sikre side og kan derfor drage fordel af en simpel beslutningsregel ved at forudsætte, at den normsatte værdi er at betragte som *kendt* variationskoefficient. Eftersynsfirmaer behøver ikke at beregne spredning eller variationskoefficient for målte trykstyrker for at kunne foretage en vurdering af betons trykstyrke i bygværker. Derfor benævnes de fastsatte værdier i normen som »*udokumenteret variationskoefficient*«.

## Dokumentation og undersøgelser

Der er en del situationer, hvor man i forbindelse med vurdering af betonkonstruktioners kvalitet bliver stillet over for spørgsmålet, om betonen i sig selv som materiale lever op til de stillede krav. Normalt vil et studium af dokumentationsmaterialet for betonens delmaterialer, sammensætning, udstøbning, komprimering og efterbehandling kunne besvare dette spørgsmål.

I bilag 4, side 135, bringes en nyttig dokumentationsoversigt udformet som en checkliste indeholdende de krav, der normalt stilles i projektmaterialet og basisbetonbeskrivelsen.

Der forekommer imidlertid tilfælde, som nævnt i det foregående, hvor dokumentationsmaterialet er bortkommet eller ikke er udfærdiget.

I sådanne tilfælde kan den fornødne viden etableres ved en undersøgelse af betonen i konstruktionen. En undersøgelse af beton i konstruktioner er ikke uden udgifter. Det er derfor vigtigt, at de spørgsmål, som søges besvaret ved en undersøgelse, bliver meget præcist formuleret med hensyn til *hvad der skal måles*, og med *hvilken nøjagtighed* resultaterne skal foreligge.

Det vil altid være således, at besvarelsen af de stillede spørgsmål kun gælder for hele betonkonstruktionen i den udstrækning, som de udtagne betonprøver og anden undersøgelse er repræsentative for betonkonstruktionen som helhed. Derfor er prøveudtagningsplanen en vigtig del af undersøgelsen af beton i konstruktioner.

### Vurdering af betons delmaterialer

En nødvendig betingelse for at beton opfylder de stillede krav er, at der er anvendt konditionsmæssige delmaterialer, dvs. delmaterialer, som opfylder de stillede krav i den på opførelsestidspunktet gældende betonnorm og andre offentlige bestemmelser, og som opfylder de for konstruktionen specifikt stillede krav i almindelige eller særlige arbejdsbetingelser.

Hvis der i et projekts dokumenter ikke foreligger klart formulerede krav til betonens delmaterialer, vil det ikke være muligt at vurdere, om der er anvendt konditionsmæssige delmaterialer til betonen.

I det følgende gennemgås hvilke muligheder, der eksisterer for at undersøge og vurdere betonens delmaterialer i udtagne betonprøver fra betonkonstruktionen.

Gennemgangen knytter sig specielt til kravene, som de er opstillet i basisbetonbeskrivelsen.

### *Cement*

Kravene til cement i basisbetonbeskrivelsen og danske betonnormer bygger på danske standarder (DS) og særlige bestemmelser for certificering (SBC). Kravene er følgende:

- Kravene i DS 427 skal være opfyldt på anvendelsestidspunktet, dvs. at ældet, stenløben eller på anden måde skadet cement ikke er tilladt anvendt.
- Cementen skal enten være certificeret i henhold til SBC 227 eller underkastes særlig prøvning, jf. afsnit 3.1 i basisbetonbeskrivelsen.

### *Eftersyn*

Foreligger der dokumentation for, at der har været anvendt certificeret cement svarende til SBC 227, anses cementen for fyldestgørende kontrolleret.

Hvis der ikke er anvendt DS-certificeret cement, skal bygværkets kontroljournaler indeholde følgesedler for den leverede cement. Disse følgesedler skal svare til den forbrugte mængde beton og skal være påført oplysninger om den anvendte cement med en betegnelse, der svarer til betegnelserne i SBC 227. Desuden skal der foreligge data fra kontrolprøvningen af cementen. Foreligger disse dokumenter med tilstrækkelige oplysninger, anses disse som fyldestgørende dokumentation for, at de stillede krav i basisbetonbeskrivelsen har været opfyldt på tidspunktet for cementens levering.

Det skal bemærkes, at den anvendte cementtype blandt andet har betydning for de krav, der stilles til den anvendte sandtype og stentype.

### *Undersøgelser*

Hvis bygningsejeren ikke kan fremlægge dokumentation for anvendt cementtype, kan der udtages prøver af betonkonstruktionen som led i eftersynet.

Ved tyndslibsanalyser (mikrostrukturel analyse) af betonprøver fra det pågældende bygværk vil det være muligt at fastslå den anvendte cementtype, hvis der er anvendt dansk cement. Der henvises til prøvningsmetoden TI-B5(87) for mikrostrukturel analyse. Bestemmelsen sker ved optisk sammenligning med observationer i tyndslib af standardprøver med de kendte danske cementtyper. Er der anvendt udenlandsk cement, fx cement af svensk, norsk, polsk, hollandsk eller tysk oprindelse, kan det være afgørende for bestemmelsen, at der foreligger standardprøver af den anvendte udenlandske cementtype. En sådan vil normalt kunne bringes til veje (eller fremstilles), hvis bygværket er af nyere dato.

I et ikke-carboniseret område af en betonprøve kan cementtypen fastlægges ud fra mængden og udseendet af cementens klinkerminerale, herunder cementkornenes størrelsesfordeling, samt eventuelt indhold af flyveaske. I det følgende er nævnt eksempler på kendetegn for fire danske cementtyper, som er certificeret efter SBC 227:

- *Standardcement*. Indeholder typisk klinkerminerale  $C_3S$  og  $C_2S$  i forholdet 3:1. Klinkermineralet  $C_4AF$  forekommer i mindre mængde. Indholdet af flyveaske er typisk 20-25 pct. Flyveasken er samformalet med klinkerne og skal således være delvis nedknust og have kornstørrelsesfordeling som klinkerne.
- *Rapidcement*. Har samme sammensætning af klinkerminerale som Standardcement, men indholdet af flyveaske er mindre end 5 pct.
- *Lavalkali sulfatbestandig cement*. Udseendet af klinkermineralet  $C_2S$  er karakteristisk for cementtypen. Flyveaske er normalt ikke til stede, men kan forekomme som forurening.
- *Hvid portlandcement*. Det lave indhold af farvede klinkerminerale er karakteristisk for cementtypen. Det stærkt farvede klinkermineral  $C_4AF$  udgør ca. 1 pct. mod ca. 10 pct. i de øvrige cementtyper. Flyveaske er ikke til stede.

Anvendelse af tilsætninger i form af forskellige farvestoffer og flyveaske kan til en vis grad sløre kendetegnene. Det er dog sjældent, at de afgørende kendetegn for cementtypen helt forsvinder.

Foruden mulighed for at kunne fastslå cementtypen, kan det afgøres, om cementen fx har været stenløben, da den blev blandet i betonen.

### *Flyveaske og mikrosilica*

Indholdet i beton af flyveaske og mikrosilica skal overholde de grænseværdier, der er anført som vejledende værdier i betonnormen DS 411 og i Normstyrelsens publikation NP-188-R (»askevejledningen«).

Basisbetonbeskrivelsen fastslår, at flyveaske og mikrosilica, der leveres med varedeklaration, er fyldestgørende kontrolleret under følgende betingelser:

- Varedeklarationen skal være baseret på løbende kontrol på produktionsstedet.
- Prøvningsfrekvensen skal være mindst én prøve pr. måned.
- Glødetab og finhed skal være oplyst for de enkelte læs i leverancen.

Flyveaske og/eller mikrosilica anvendes som tilsætning i beton blandt andet for at opnå en gunstig pakningseffekt i betonens kitmasse, således at betonen kan regnes at blive tættere over for udefra kommende miljøpåvirkning. Finhed

og glødetab for den anvendte flyveaske og mikrosilica har specielt betydning for den opnåede tætningseffekt. Opfyldelse af de andre stillede krav, jf. NP-188-R, kan have afgørende betydning for, om den ønskede virkning af flyveaske og/eller mikrosilica er blevet opnået.

#### Eftersyn

Foreligger der, som en del af bygværkets kontroljournaler, følgesedler med oplysning om glødetab og finhed for de enkelte læs i leverancen samt kopi af varedeklarationen for den leverede flyveaske og/eller mikrosilica, er dette fyldestgørende dokumentation for, at de stillede krav i basisbetonbeskrivelsen har været overholdt på tidspunktet for leverancen.

#### Undersøgelser

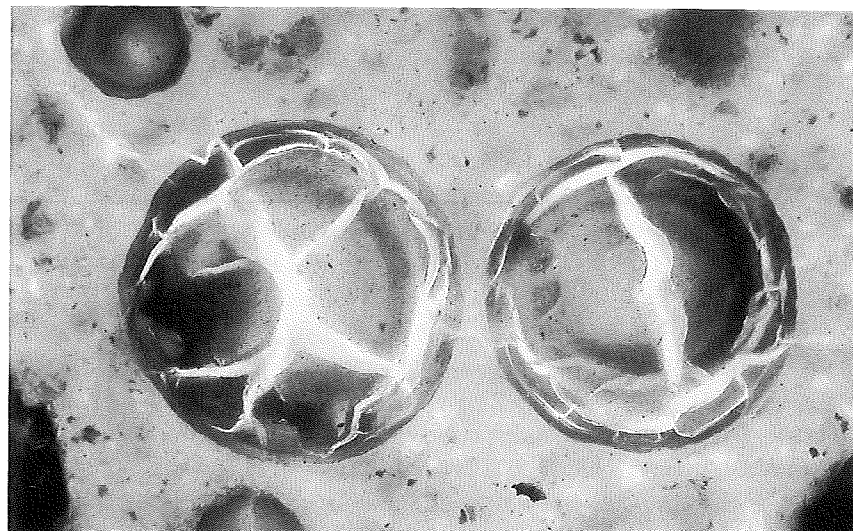
Hvis bygningssejeren ikke kan fremlægge dokumentation for den eventuelle anvendelse af flyveaske og/eller mikrosilica, skal der udtages prøver af betonkonstruktionen som led i eftersynet.

Ved tyndslibsanalyser (mikrostrukturel analyse) af betonprøver fra det pågældende bygværk kan det afgøres, om der har været anvendt flyveaske og/eller mikrosilica. Derimod kan kvaliteten næppe konstateres; ej heller umiddelbart den gunstige effekt. Dog kan tilstedeværelsen af grove defekter i betonen observeres, fx hvis der er tale om mange urenheder og meget grove korn fra flyveasken.

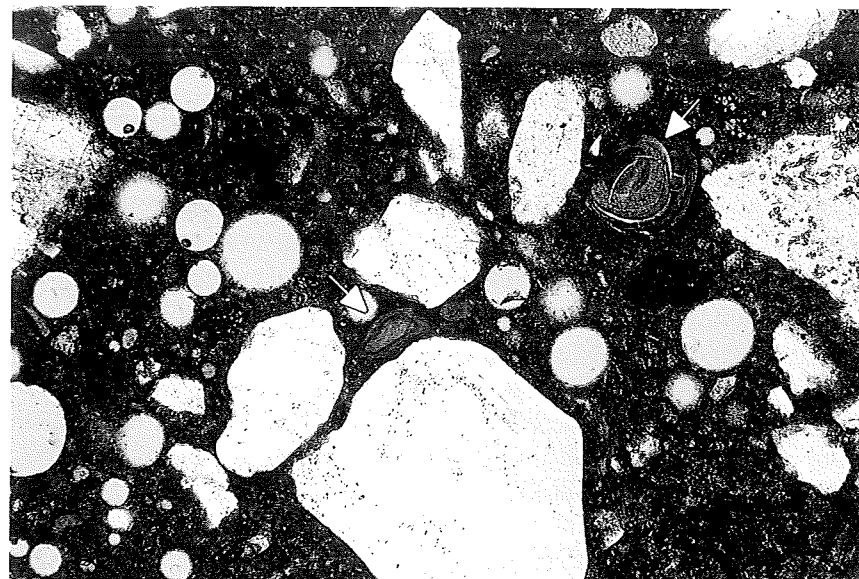
De enkelte korn af mikrosilica kan ikke observeres; dertil er de for små. Klumper (agglomerater) af mikrosilica (der ikke er dispergeret) vil dog give sig tydeligt til kende i tyndslib. Disse klumper af mikrosilica vil normalt udvise et internt og undertiden et eksternt revnesystem, se figur 13 og 14, svarende til revnedannelse i og omkring alkalireaktive partikler som følge af alkali-reaktion. En tilsvarende effekt kan observeres for grove korn af flyveaske.

Det er ikke muligt i tyndslib at se, om der ved iblanding af flyveaske og/eller mikrosilica er opnået en passende tæthed over for eksterne miljøpåvirkninger. Det bedste tegn er dog, at cementpastaens kapillarporøsitet er mindre end krævet. Dette vurderes ved måling af det ækvivalente vand/cement-forhold (ækv.  $v/c$ ), se afsnittet *Vand/cement-forhold* senere i dette kapitel.

Giver en måling af ækv.  $v/c$ -forhold ikke dokumentation for, at betonen er passende tæt (for stort ækv.  $v/c$ -forhold) eller observeres det, at flyveasken synes grovere end acceptabelt eller at den tilsatte flyveaske og/eller mikrosilica ikke er passende dispergeret, er den eneste mulighed for undersøgelse af, om der er opnået en gunstig effekt, at bestemme betonens modstand mod indtrængende aggressiv påvirkning. Det kan fx ske ved bestemmelse af betonprøvens førsteårscarbonatisering for beton i moderat miljøklasse og førsteårsschlorldindtrængning for beton i aggressiv miljøklasse.



Figur 13. Snit af beton, støbt med kompakteret mikrosilica. Manglende dispergering har medført mikrosilicaklumper i kitmassen. Mikrosilica er alkalireaktiv og kan reagere med kitmassens porevæske. Der er dannet revner, både i og ud fra klumperne. Billedet er taget i et fluorescensmikroskop. Udsnittet er ca.  $0,5 \times 0,4$  mm. Foto: AEC.



Figur 14. Snit i beton med klumper af udispergeret mikrosilica (ved pile). Billedet er taget i polarisationsmikroskop med parallelle nicoller. Udsnittet er ca.  $1,5 \times 1,0$  mm. Foto: COWIconsult.

### Støbevand

Det kræves i basisbetonbeskrivelsen, at der som støbevand til beton skal anvendes fersk vand af kvalitet som drikkevand, leveret fra vandværk.

### Eftersyn

Foreligger der i bygværkets kontroljournaler dokumentation for, at der som støbevand er anvendt drikkevand fra et navngivet vandværk, er dette dokumentation for, at der er udført fyldestgørende kontrol af støbevandet.

### Undersøgelser

Kan bygningsejeren ikke fremlægge dokumentation for støbevandets kvalitet, kan man vurdere sandsynligheden for, at der er anvendt vand med skadelig virkning. Den væsentligste fejl kan være, at der er anvendt vand med et højt chloridindhold. Det vil imidlertid afsløres ved analyse af den hærdede betons chloridindhold, hvis betonen indeholder for meget chlorid. Man vil dog ikke kunne konkludere, om konstaterede chlorider stammer fra betonens blandedvand eller fx kommer fra betonens tilslag (sømaterialer) og tilsætningsstoffer.

Det vil ikke være muligt at foretage direkte undersøgelser til klarlæggelse af støbevandets kvalitet. I tilfælde af, at der observeres betydningsfulde defekter i betonen, vil årsagen til disse defekter endda næppe kunne henføres til anvendelse af ikke-konditions-mæssigt støbevand alene ud fra en tyndslibs-analyse.

Defekter og tegn på forvitring af beton er i Danmark ikke registreret éntydigt at være forårsaget alene af støbevandets kvalitet.

### Sand

Basisbetonbeskrivelsen og betonnormen opdeler sand (tilslagspartikler under 4 mm) til beton, der skal befinde sig i moderat og aggressiv miljøklasse, i fire typer ud fra opstillede udfaldskrav:

- *Klasse P-sand.* Kun udfaldskrav for humusprøven. Andre specificerede egenskaber og karakteristika skal måles, men udfaldskrav er ikke givet, jf. skema 1 i basisbetonbeskrivelsen.
- *Klasse M-sand.* Udfaldskrav for humusprøven og udfaldskrav for undersøgelse af sandets potentielle alkalireaktivitet. Andre egenskaber og karakteristika skal måles, men udfaldskrav er ikke givet, jf. skema 1 i basisbetonbeskrivelsen.
- *Klasse A-sand.* Identisk med klasse M-sand, jf. skema 1 i basisbetonbeskrivelsen.
- *Klasse S-sand.* Krav som for klasse A-sand, idet dog udfaldskrav for sandets potentielle alkalireaktivitet er skærpet, jf. fodnote 8 til skema 3 i basisbeton-

beskrivelsen. Betegnelsen »klasse S-sand« står her for en forkortelse for klasse A-sand, der også opfylder de specielle krav i fodnote 8 til skema 3.

Der er stillet krav til begrænsning af sandets potentielle alkalireaktivitet for M-sand, A-sand og S-sand. Dette kan ifølge basisbetonbeskrivelsen ske ved én af to metoder. For M-sand og A-sand skal enten mørtelprismeeekspansionen efter prøvningsmetoden TI-B 51 (se basisbetonbeskrivelsen side 41) begrænses til maksimalt 0,1 pct. efter 8 ugers eksponering eller også skal sandets indhold af alkalireaktive korn, bestemt ved prøvningsmetoden TI-B 52 (se side 42 i basisbetonbeskrivelsen), være begrænset til maksimalt 2,0 vol-pct. For S-sand skal enten mørtelprismeeekspansionen efter prøvningsmetoden TI-B 51 være begrænset til maksimalt 0,1 pct. efter 20 ugers ekspansion eller også skal sandets indhold af alkalireaktive korn, bestemt efter prøvningsmetoden TI-B 52, være begrænset til maksimalt 1,0 vol-pct.

Basisbetonbeskrivelsen fastslår, at sandmaterialer, leveret med varedeklaration anses for fyldestgørende kontrolleret, hvis varedeklarationen er baseret på prøvning under ekstern overvågning af autoriseret instans.

### Eftersyn

Foreligger der, som en del af bygværkets kontroljournaler, prøvningsrapporter fra laboratorier, akkrediteret af DANAK, er dette dokumentation for fyldestgørende kontrol under følgende forudsætninger:

- Stillede krav i basisbetonbeskrivelsen er opfyldt.
- Kontrolomfanget svarer til det, som er krævet i basisbetonbeskrivelsen.

### Undersøgelser

Kan bygningsejeren ikke fremlægge dokumentation for det anvendte sands kvalitet, skal der udtages prøver af betonkonstruktionen som led i eftersynet. Ved tyndslibsundersøgelser (mikrostrukturel analyse) af betonprøver fra det pågældende bygværk kan det sandsynliggøres, om de stillede krav i basisbetonbeskrivelsen og betonnormer til sandet er opfyldt i betonprøven.

Ved tyndslibsundersøgelser (mikrostrukturel analyse) af betonprøver vil det være muligt at foretage en bestemmelse af indholdet af alkalireaktive korn i sandfraktionen (0-4 mm) og foretage en vurdering af, om det stillede krav er opfyldt. Den her anvendte metode benytter samme måleprincip som prøvningsmetoden TI-B 52.

Der er i basisbetonbeskrivelsen stillet krav til udfaldet af humusprøven. Tyndslibsanalyse kan anvendes til en vurdering af, om kravet kan regnes opfyldt. Har sand nemlig været inficeret med humussyre, vil dette i ekstreme tilfælde markere sig i tyndslib af betonen ved, at der i cementpastaen rundt om og i kontakt med sandkornene er meget lav hydratiseringsgrad og høj kapillarporøsitet.

## Sten

Basisbetonbeskrivelsen opdeler sten (tilslagspartikler over 4 mm) til beton i fire typer. De anvendes til beton, der skal befinde sig i de forskellige miljøklasser. De fire typer grupperes ud fra opstillede udfaldskrav for visse egenskaber og karakteristika:

- *Klasse P-sten.* Ingen udfaldskrav. Specificerede egenskaber og karakteristika skal dog måles, men udfaldskrav er ikke givet, jf. skema 2 i basisbetonbeskrivelsen.

- *Klasse M-sten.* Der er udfaldskrav for indholdet af korn med korndensitet under  $2400 \text{ kg/m}^3$  korn. Dette krav er stillet for at nedsætte risikoen for alkalireaktioner og for frostspringere i fugtig beton, der udsættes for frysning. Basisbetonbeskrivelsen giver dog mulighed for at skærpe krav til indholdet af lette korn, hvis risiko for stor springerintensitet skal minimeres.

Desuden er der stillet udfaldskrav for indhold af korn af tæt flint med porøs skorpe. Dette krav er stillet for at nedsætte risikoen for alkalireaktioner i betonens stenfraktion.

Andre specificerede egenskaber og karakteristika skal måles, men udfaldskrav er ikke givet, jf. skema 2 i basisbetonbeskrivelsen.

- *Klasse A-sten.* Samme egenskaber og karakteristika bestemmes som for klasse M-sten, men der er skærpede udfaldskrav, jf. skema 2 i basisbetonbeskrivelsen.

- *Klasse S-sten.* Samme egenskaber og karakteristika bestemmes som for klasse A-sten, men der er skærpede udfaldskrav, jf. fodnote 8 for skema 3 i basisbetonbeskrivelsen.

Betegnelsen »klasse S-sten« står for en forkortelse for klasse A-sten, der også opfylder de specificerede krav i fodnote 8 til skema 3 i basisbetonbeskrivelsen.

Basisbetonbeskrivelsen fastslår, at stenmaterialer, leveret med varedeklaration anses for fyldestgørende kontrolleret, hvis varedeklarationen er baseret på prøvning under ekstern overvågning af autoriseret instans (DANAK).

## Eftersyn

Foreligger der, som en del af bygværkets kontroljournaler, kopi af prøvningsrapporter fra laboratorier, akkrediteret af DANAK, er dette dokumentation for fyldestgørende kontrol under forudsætning af, at følgende betingelser er opfyldt:

- Stillede krav i basisbetonbeskrivelsen er opfyldt.
- Kontrolomfanget svarer til det, som er krævet i basisbetonbeskrivelsen.

## Undersøgelser

Kan bygningsejeren ikke fremlægge dokumentation for de anvendte stens kvalitet, skal der udtages prøver af betonkonstruktionen som led i eftersynet. Ved planslibsanalyser af betonprøver fra det pågældende bygværk kan det afgøres, om det er rimeligt at antage, at de i basisbetonbeskrivelsen stillede krav til stenene er opfyldt i betonprøven.

Ved planslibundersøgelse af betonprøver kan man ikke skelne skarpt mellem korn, hvis korndensitet ligger umiddelbart over og under  $2400 \text{ kg/m}^3$  korn for klasse M- og klasse A-sten ( $2500 \text{ kg/m}^3$  korn for klasse S-sten). Den øvede betonpetrograf kan imidlertid give et kvalificeret skøn over, om det er rimeligt at antage, at de stillede funktionskrav er opfyldt. Mængden af ikke-konditionsmæssige korn bestemmes ved punkttælling i planslib.

Krav til stenenes indhold af tæt flint med porøs skorpe er i basisbetonbeskrivelsen stillet til disse stens absorption. Ved planslibundersøgelser af betonprøver kan disse stens absorption imidlertid ikke direkte bestemmes, men den øvede betonpetrograf kan give et kvalificeret skøn over, om det er rimeligt at antage, at det stillede funktionskrav (alkalireaktivitet) er opfyldt.

## Tilsætningsstoffer

Det kræves i basisbetonbeskrivelsen, at tilsætningsstoffer leveres med varedeklaration, omfattende en række nærmere definerede egenskaber og karakteristika, jf. afsnit 3.6 i basisbetonbeskrivelsen.

## Eftersyn

Foreligger der i bygværkets kontroljournaler varedeklaration for de anvendte tilsætningsstoffer samt dokumentation for, at denne varedeklaration var baseret på prøvning inden for 12 måneder før anvendelsesdatoen, er dette tilstrækkelig dokumentation for, at der er udført en fyldestgørende prøvning af de anvendte tilsætningsstoffer.

## Undersøgelser

Kan bygningsejeren ikke fremlægge dokumentation for tilsætningsstoffernes kvalitet, må man ved undersøgelser i forbindelse med eftersynet ved hjælp af plan- og tyndslib undersøge, om den ønskede virkning af tilsætningsstofferne kan registreres ved en mikrostrukturel analyse.

Ved anvendelse af luftindblandende tilsætningsstoffer skal det indblandede luftbubblesystem opfylde de stillede krav. Ved anvendelse af plastificerende tilsætningsstoffer skal betonens mikrostruktur være karakteriseret ved et passende lavt indhold af indkapslet luft, dvs. luftbobler, hvis udstrækning (diameter) i planslibet pr. definition er over ca. 0,35 mm.

## Vurdering af betons sammensætning

Basisbetonbeskrivelsen og betonnormen opdeler beton i fire klasser ud fra de miljøpåvirkninger, som betonen vil blive udsat for i bygværket:

- *Klasse P-beton.* Der er ingen holdbarhedskrav til beton for anvendelse i passiv miljøklasse, dvs. konstruktioner i beskyttet miljø, fortrinsvis tørre, ikke-aggressive omgivelser; dog henregnes jorddækkede fundamenter i lempet og normal sikkerhedsklasse til passiv miljøklasse. Der kan imidlertid være styrkekrav, helt som for beton i andre miljøklasser.
- *Klasse M-beton.* Der er holdbarhedskrav til anvendelse i moderat miljøklasse, dvs. fugtige, ikke-aggressive omgivelser, eventuelt med mulighed for frysning, men *ikke* i vandmættet tilstand som følge af vandrette flader og/eller vandsamlende, konstruktive detaljer.
- *Klasse A-beton.* Der er holdbarhedskrav til anvendelse i aggressiv miljøklasse, dvs. fugtige, chloridholdige og/eller alkaliholdige omgivelser, eventuelt med mulighed for frysning i vandmættet tilstand (fx vandrette flader og/eller vandsamlende, konstruktive detaljer).
- *Klasse S-beton.* Der er holdbarhedskrav til anvendelse i særlig aggressive miljøer, fx miljøer, der er karakteriseret ved varmt chloridholdigt vand (fx svømmebassiner) eller cementpastaopløsende påvirkning (fx sure, sulfatholdige eller nitratholdige miljøer). Basisbetonbeskrivelsen eller betonnormen stiller *ikke* krav til klasse S-betoner, men de projekterende skal motivere og formulere krav, der *ikke er slækkede* i forhold til krav til klasse A-beton.

Bygværkets kontroljournaler skal indeholde følgesedler for den leverede beton, hvis der er tale om fabriksfremstillet beton. Disse følgesedler skal svare til den forbrugte mængde beton og skal være opfulgt af oplysninger om kontroldata for betonens sammensætning og trykstyrke. Desuden skal bygværkets kontroljournaler indeholde kopier af de tre betonblanketter, jf. afsnit 7.1 i basisbetonbeskrivelsen, underskrevet af entreprenøren og betonproducenten samt have dokumentation for at have været forelagt tilsynet.

Foreligger disse dokumenter med tilstrækkelige oplysninger, og er de stillede krav opfyldt, anses dette som fyldestgørende dokumentation for, at de stillede krav i basisbetonbeskrivelsen har været opfyldt for den pågældende beton.

### Vand/cement-forhold

Det kræves i basisbetonbeskrivelsen og DS 411, udgave 3 fra 1990, at de anvendte betontyper opfylder følgende krav om øvre grænseværdier for  $v/c$ -forholdet:

- *Klasse M-beton.* Maksimalt 0,55.
- *Klasse A-beton.* Maksimalt 0,45.

Andre udgaver af betonnormen har andre krav til betonens  $v/c$ -forhold.

Ved beregning af  $v/c$ -forholdet ud fra betonens registrerede indhold af vand og pulver (cement, flyveaske og mikrosilica) skal mikrosilica medregnes med en aktivitetsfaktor 2,0. Flyveasken skal derimod medregnes med en aktivitetsfaktor, der uden nærmere dokumentation kan sættes til 0,5. Dog er der mulighed for at anvende en værdi mellem 0,5 og 1,0 som anført i fodnote 1 til skema 3 i basisbetonbeskrivelsen.

Det, der har betydning for betons beskyttelse mod miljøpåvirkninger, er, at betonens kapillarporøsitet er passende lav. Det har været grundlaget for krav til beton i forskellige miljøklasser, både i Danmark og i udlandet. Den kapillarporøsitet, som udvikler sig under hærdningen, kan naturligvis ikke måles forud på frisk beton. Den kan derimod estimeres ved at bestemme en vikarierende egenskab, baseret på betonens pulverindhold og vandindhold. Her benyttes betonens  $v/c$ -forhold. Aktivitetsfaktorernes værdier er i princippet valgt således, at betonens kapillarporøsitet stort set svarer til kapillarporøsiteten for en beton med samme  $v/c$ -forhold, men uden flyveaske og mikrosilica, jf. NP-188-R (»askevejledningen«).

### Eftersyn

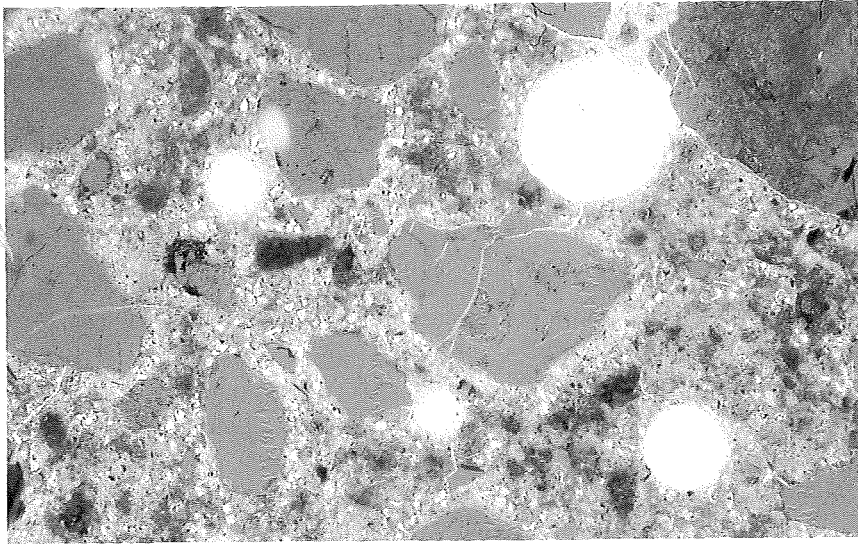
Bygværkets kontroljournaler skal indeholde dokumentation for, at betonens  $v/c$ -forhold opfylder de stillede krav i basisbetonbeskrivelsen eller betonnormen, fx i form af kontroldata for betonens vandindhold og registrering af tilsatte mængder af cement, flyveaske og mikrosilica.

### Undersøgelser

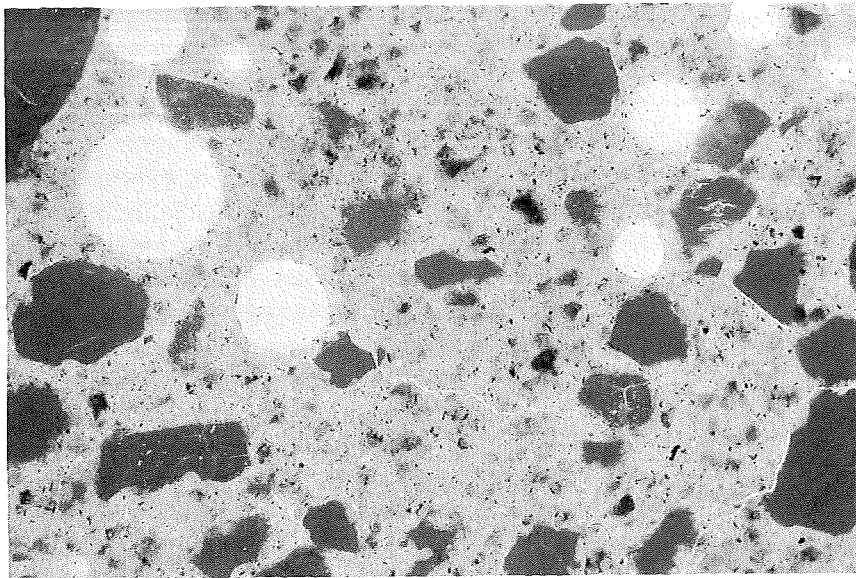
Hvis bygningsejeren ikke kan fremlægge dokumentation for, at den anvendte beton har overholdt det stillede krav til betonens  $v/c$ -forhold, skal der udtages prøver af betonkonstruktionen som led i eftersynet.

Ved tyndslibsanalyser af betonprøver er det muligt at bestemme et mål for cementpastaens kapillarporøsitet. Mellem betons kapillarporøsitet og  $v/c$ -forholdet er der ved normale hærdningsbetingelser en passende fikseret relation. Det er derfor muligt med passende god tilnærmelse at omsætte observationerne i tyndslibet vedrørende kapillarporøsiteter til  $v/c$ -forhold, se figur 15 og 16. Opfylder det derved bestemte  $v/c$ -forhold ikke de stillede krav, kan det enten skyldes, at betonens  $v/c$ -forhold faktisk har været for højt, at efterbehandlingen af betonen har svigtet (udtørring), eller at der har været vandansamling på betonoverfladen, fx fra bleeding. Effekten fra udtørring og bleeding aftager med afstanden fra betonoverfladen ind i betonen, men kan i selve betonoverfladen medføre, at armeringens dæklag ikke er så tæt som forudsat.

Der er ikke absolut identitet mellem det  $v/c$ -forhold, som bestemmes i tyndslib for en beton ved måling af cementpastaens kapillarporøsitet og det



Figur 15. Snit i beton med relativ lav kapillarporøsitet, svarende til et  $v/c$ -forhold på ca. 0,40. Billedet er taget i et fluorescensmikroskop. Udsnittet er ca.  $1,5 \times 1,0$  mm. Foto: COWIconsult.



Figur 16. Snit i beton med relativ lav kapillarporøsitet, svarende til et  $v/c$ -forhold på ca. 0,55-0,60. Billedet er taget i et fluorescensmikroskop. Udsnittet er ca.  $1,5 \times 1,0$  mm. Foto: COWIconsult.

ækv.  $v/c$ -forhold, der fastlægges ved beregning som krævet i basisbetonbeskrivelsen, dvs. med en aktivitetsfaktor på 0,5 for flyveaske og 2,0 for mikrosilica.

#### *Finstofindhold*

Der er i basisbetonbeskrivelsen kun stillet krav til betons finstofindhold, hvor betonen skal anvendes til betonkonstruktionsdele, som udsættes for påvirkninger i aggressiv miljøklasse. Ved betons finstofindhold forstås betonens samlede indhold af pulver (cement, flyveaske og mikrosilica) og filler (tilslagsmateriale, der passerer en sigte med maskevidde 0,25 mm, jf. DS 423.9). Ifølge basisbetonbeskrivelsen skal beton til aggressiv miljøklasse have et finstofindhold på mindst  $650 \text{ kg/m}^3$  mørtel. Kravet er stillet for at sikre, at den nødvendige betingelse er til stede for, at den pågældende beton kan blive passende vandtæt.

#### *Eftersyn*

Bygværkets kontroljournaler skal indeholde fyldestgørende udfyldte betonblanketter for den anvendte beton. For beton til aggressiv miljøklasse skal betonens finstofindhold fremgå af disse betonblanketter.

#### *Undersøgelser*

Hvis bygningsejeren ikke kan fremlægge dokumentation for, at beton i aggressiv miljøklasse har overholdt basisbetonbeskrivelsens krav til finstofindhold, skal der udtages prøver af betonkonstruktionen som led i eftersynet.

Ved punkttælling på et planslib af en betonprøve er det muligt at bestemme betonens indhold af filler og hærdnet cementpasta. Dermed kan det sandsynliggøres, om det stillede krav i basisbetonbeskrivelsen er blevet overholdt for betonen i prøven.

#### *Indhold af flyveaske og mikrosilica*

Ifølge basisbetonbeskrivelsen skal betonens indhold af flyveaske og mikrosilica overholde de grænseværdier, der er anført som vejledende værdier i betonnormen, DS 411. Disse krav er følgende:

- Betonens indhold af mikrosilica må højst udgøre 10 pct. af massen af betonens pulverindhold (cement + flyveaske + mikrosilica).
- Betonens samlede indhold af flyveaske og mikrosilica må højst udgøre 35 pct. af massen af betonens pulverindhold.



### Eftersyn

Bygværkets kontroljournaler skal indeholde fyldestgørende udfyldte betonblanketter for den anvendte beton. Betonens indhold af cement, flyveaske og mikrosilica skal fremgå af disse betonblanketter.

### Undersøgelser

Hvis bygningsejeren ikke kan fremlægge dokumentation for betonens indhold af cement, flyveaske og mikrosilica, skal der udtages prøver af betonkonstruktionen som led i eftersynet.

Ved tyndslibsundersøgelser kan det afgøres med rimelig sikkerhed, om betonen indeholder flyveaske og/eller mikrosilica. Derimod kan mængden af flyveaske og/eller mikrosilica i betonen ikke bestemmes; dog kan det normalt afgøres, om basisbetonbeskrivelsens grænseværdier er væsentligt overskredet.

### Alkaliindhold og tilslagstype

Betonens alkaliindhold (ækv.  $\text{Na}_2\text{O}$ ) er afgørende for, hvilken sandtype og stentype der ifølge basisbetonbeskrivelsen skal anvendes. I passiv miljøklasse kan klasse P-sand og klasse P-sten anvendes uafhængigt af betonens alkaliindhold. For beton i moderat miljøklasse og aggressiv miljøklasse er kravene i basisbetonbeskrivelsen følgende:

- *Alkaliindhold under 1,8 kg/m<sup>3</sup> beton.* Klasse P-sand og klasse M-sten kan anvendes i moderat miljøklasse. Klasse A-sand og klasse A-sten skal anvendes i aggressiv miljøklasse.
- *Alkaliindhold på 1,8-3,0 kg/m<sup>3</sup> beton.* Klasse M-sand og klasse M-sten skal anvendes i moderat miljøklasse. Klasse A-sand og klasse A-sten skal anvendes i aggressiv miljøklasse.
- *Alkaliindhold over 3,0 kg/m<sup>3</sup> beton.* Klasse S-sand og klasse S-sten skal anvendes i både moderat og aggressiv miljøklasse.

### Eftersyn

Bygværkets kontroljournaler skal indeholde fyldestgørende udfyldte betonblanketter for den anvendte beton. For beton i moderat og aggressiv miljøklasse skal betonens alkaliindhold (ækv.  $\text{Na}_2\text{O}$ ) fremgå af disse betonblanketter side 2.

### Undersøgelser

Hvis bygherren ikke kan fremlægge dokumentation, der viser, hvad betonens beregnede alkaliindhold er, skal der udtages prøver af betonkonstruktionen som led i eftersynet. Som omtalt tidligere er det muligt at bestemme den

anvendte cementtype for den aktuelle beton. Af cementtypen fremgår også cementens maksimale alkaliindhold, jf. SBC 227. Derved kan betonens alkaliindhold estimeres, hvis betonens cementindhold fremgår af betonblanketterne. Hvis dette ikke er tilfældet, må betonens cementindhold bestemmes, således at betonens alkaliindhold derved kan beregnes. Bidrag fra betonens øvrige delmaterialer (støbevand, tilslag og tilsætningsstoffer) kan ofte skønnes.

Alternativt hertil kan betonens alkaliindhold måles. Betons alkaliindhold kan bestemmes ved kemisk analyse af betonens porevæske (fra porevæskepresser) eller ved udtrækning af vandopløselig alkali fra en betonprøve. Disse metoder er dog ikke gængs praksis i Danmark, og metodernes nøjagtighed er ikke dokumenteret i Danmark. I udlandet anvendes disse metoder dog lejlighedsvis.

### Chloridindhold

Basisbetonbeskrivelsen kræver, at betons chloridindhold (beregnet som  $\text{Cl}^-$  i pct. af betonens pulvermasse) begrænses til følgende værdier:

- *Al beton.* Der må ikke sættes chlorid til hverken armeret eller uarmeret beton som tilsætningsstof, og tilsætningsstoffer skal være begrænset i chloridindhold således, at tilsætningsstoffer maksimalt tilfører beton et chloridindhold på 0,02 pct. af betonens pulverindhold.
- *Uarmeret beton i alle miljøklasser.* Chloridindholdet må højst udgøre 1,5 pct. af betons pulverindhold.
- *Klasse P-beton.* Chloridindholdet i armeret beton må højst udgøre 1,0 pct. af betonens pulverindhold.
- *Klasse M-beton og klasse A-beton.* Chloridindholdet i armeret beton må højst udgøre 0,2 pct. af betonens pulverindhold.

### Eftersyn

Bygværkets kontroljournaler skal indeholde fyldestgørende udfyldte betonblanketter for hver af de anvendte betontyper. På disse betonblanketter side 2 skal betonens samlede chloridindhold være beregnet, og tilsætningsstoffers bidrag til betonens chloridindhold skal også fremgå af blanketten. Desuden skal kontroljournalerne indeholde dokumentation for de anvendte delmaterialers chloridindhold (prøvningsrapporter).

### Undersøgelser

Hvis bygningsejeren ikke kan fremlægge dokumentation, der viser, hvor stort de anvendte betontypers beregnede chloridindhold er, og hvor meget tilsæt-

ningsstofferne har bidraget til betonens chloridindhold, skal der udtages prøver af betonkonstruktionen, fx som led i 5-års eftersynet.

Chloridindholdet i bygværkers beton kan bestemmes ved kemisk analyse af udtagne betonprøver, enten pulverprøver (fx udtaget med 18 mm slagbor) eller borekerner. Da der er tale om betonens oprindelige (initiale) chloridindhold, må disse prøver udtages fra »uforstyrret« beton. I praksis vil det, efter fx 5 år, hvis ellers basisbetonbeskrivelsens krav skønnes at være opfyldt, være tilstrækkeligt at undgå de yderste ca. 50 mm af betonen. For beton i moderat miljøklasse (fx facader) kan der nemlig være tale om en vis udvaskning af betonen i overfladens yderste lag. Desuden vil carboniseret beton have frigivet det oprindelige chlorid, således at man vil få for små måleresultater i forhold til betonens initiale chloridindhold, hvis man måler helt eller delvis i carboniseret beton.

For beton i aggressiv miljøklasse (fx altangange), der kan have været udsat for glatførebekæmpelse med chloridholdige tøsalte, kan der være tilført chlorid til betonoverfladens yderste lag. Derfor skal også chloridindholdet i betonen måles i en dybde af mindst ca. 50 mm bag betonoverfladen.

Ved en chloridanalyse af prøver af hærdnet beton kan tilsætningsstoffers bidrag til betonens chloridindhold ikke bestemmes.

For at undersøge om grænseværdierne, givet i basisbetonbeskrivelsen, er overholdt, må man kende betonens pulverindhold. Hvis bygherren ikke kan oplyse og dokumentere betonens pulverindhold, må man enten bestemme eller estimere betonens pulverindhold (på den sikre side) således, at det bliver muligt med rimelig sikkerhed at afgøre, om de stillede krav i basisbetonbeskrivelsen har været overholdt.

### Luftindhold

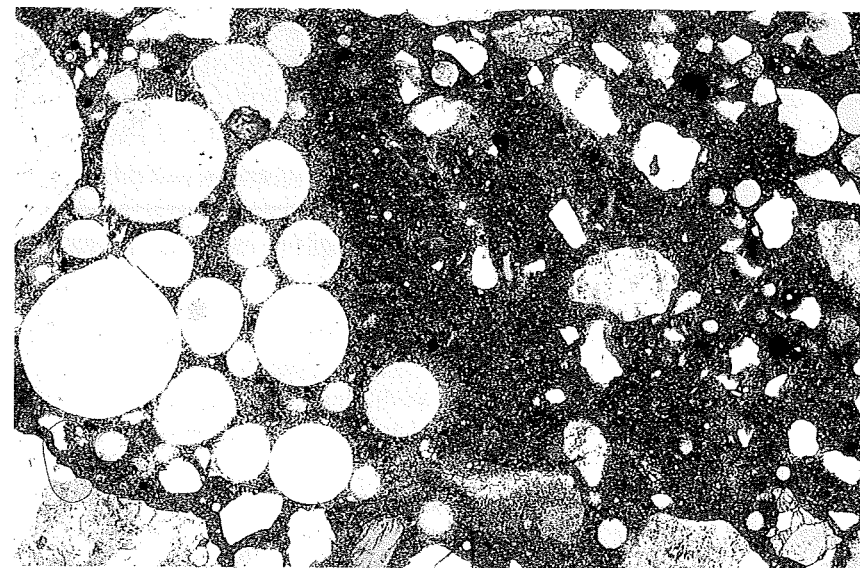
Der stilles i basisbetonbeskrivelsen krav til den friske betons luftindhold. Dette er indført, for at der skal være en nødvendig sikkerhed for, at den hærdnede betons luftindhold tilfredsstillende de stillede krav i basisbetonbeskrivelsen.

### Eftersyn og undersøgelse

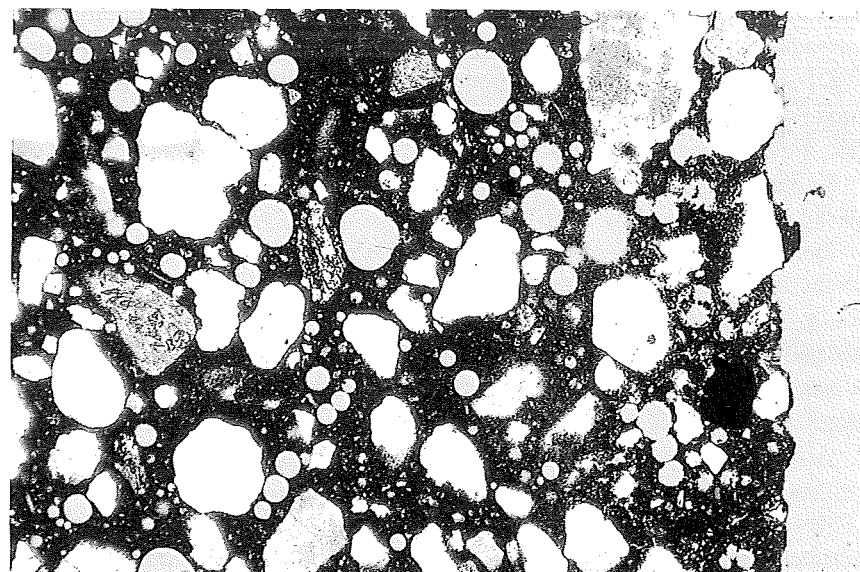
Det vil ikke kunne afgøres, om det stillede krav til luftindholdet i frisk beton har været opfyldt. Det er imidlertid muligt at måle, om den hærdnede beton har opnået det krævede luftindhold og den krævede fordeling af luftbobler (se figur 17 og 18), og det er det afgørende for betonens frostbestandighed.

### Plastificerende tilsætningsstoffer

Basisbetonbeskrivelsen kræver, at plastificerende tilsætningsstoffer altid anvendes til klasse A-beton. Desuden skal plastificerende tilsætningsstoffer



Figur 17. Snit i luftindblandet beton, hvor luftboblerne har tydelig tendens til at klumpe sig sammen. Billedet er taget i polarisationsmikroskop med parallelle nicoller. Udsnittet er ca. 1,5 × 1,0 mm. Foto: COWIconsult.



Figur 18. Snit i luftindblandet beton med middellindhold af kugleformede luftbobler. Luftboblerne er ensformigt fordelt i betonens kitmasse. Billedet er taget i et polarisationsmikroskop med parallelle nicoller. Udsnittet er ca. 5 × 3 mm. Foto: COWIconsult.

anvendes til klasse P-beton og klasse M-beton, hvis der til disse betoner er tilsat mikrosilica.

### Eftersyn

Bygværkets kontroljournaler skal indeholde fyldestgørende udfyldte beton-blanketter for de anvendte betontyper. Heraf skal anvendelsen af plastificerende (og andre) tilsætningsstoffer fremgå. Desuden skal der foreligge varedeklaration for de anvendte tilsætningsstoffer.

### Undersøgelser

Hvis bygningsejeren ikke kan dokumentere anvendelsen af plastificerende tilsætningsstoffer for de betontyper, hvor det er krævet i basisbetonbeskrivelsen, skal der udtages prøver som led i eftersynet.

Det er ikke muligt at identificere tilsætningsstoffer i hærdnet beton og bestemme den tilsatte mængde. Manglende anvendelse af plastificerende tilsætningsstof vil derimod ofte kunne sandsynliggøres ved tyndslibsanalyse.

For klasse A-beton skal  $w/c$ -forholdet være under 0,45. Anvendes plastificerende tilsætningsstof ikke, vil beton med de fleste tilslagstyper og med begrænset ækvivalent pulverindhold, fx 350-400 kg/m<sup>3</sup> beton, have en stiv konsistens og dårlig bearbejdighed. Det kan resultere i dårlig komprimering med meget indkapslet luft. Anvendes et højere ækvivalent pulverindhold, vil en bedre bearbejdighed og dermed bedre komprimering kunne opnås.

Disse forhold vil influere på betonens mikrostruktur (pastakonzentration og indkapslet luft) og vil derfor kunne bedømmes ved en tyndslibsanalyse. Der vil dog altid være tale om en subjektiv vurdering.

Er der til beton anvendt mikrosilica tilsat som pulver og ikke som slurry, vil dårlig dispergering ofte være at observere.

Der henvises til prøvningsmetoden TI-B5(87) for mikrostrukturel analyse.

### Vurdering af betons styrke og mikrostruktur

Væsentlige parametre for en bærende betonkonstruktions funktion og holdbarhed er betonens trykstyrke og mikrostruktur. Medens der normalt er stillet klare krav til betonens trykstyrke, er det samme ikke altid gældende for betonens mikrostruktur.

Det har imidlertid betydning for en forklaring af eventuelt observeret forvitring af eller revnedannelse i betonen, at der redegøres for betonens mikro- og makrostruktur.

I det følgende gives en oversigt over de muligheder, man har for at bestemme trykstyrken og mikrostrukturen for beton i bygningsværker.

### Karakteristisk trykstyrke

Basisbetonbeskrivelsen stiller krav om, at armeret beton i moderat og aggressiv miljøklasse, svarende til en modenhed på 28 M-døgn, har opnået en karakteristisk trykstyrke, der opfylder følgende krav:

- *Klasse M-beton.* Mindst  $f_{ck} = 30$  MPa; dog kan den karakteristiske trykstyrke nedsættes til  $f_{ck} = 25$  MPa for beton til frilagte facader, hvis betonens cementindhold mindst er 250 kg/m<sup>3</sup> beton.
- *Klasse A-beton.* Mindst  $f_{ck} = 35$  MPa.

Projektmateriale kan indeholde krav til armeret betons karakteristiske trykstyrke efter 28 M-døgn, som er større end anført ovenfor.

For *uarmet beton* stiller basisbetonbeskrivelsen derimod ikke styrkekrav, hverken efter 28 M-døgn eller til anden modenhed; derfor må styrkekravet findes i projektmateriale. Man skal her være opmærksom på kravene i betonnormen, DS 411, pkt. 3.2.2 om betonstyrker:

»Den karakteristiske værdi af betonens trykstyrke skal foreskrives som et multiplum af 5 MPa. Den må ikke regnes større end 50 MPa i armeret beton og 25 MPa i uarmet beton«.

Krav i basisbetonbeskrivelsens skema 3 til blandt andet uarmet betons sammensætning medfører ofte, at den opnåede trykstyrke ligger væsentligt over det stillede krav om, hvad der må tages i regning. Det betyder, at krav til uarmet betons karakteristiske trykstyrke sjældent er et kritisk krav.

### Eftersyn

Bygværkets kontroljournaler skal indeholde data (kontrolprøvningsresultater) fra kontrolprøvning af betonens trykstyrke.

### Undersøgelser

Hvis bygningsejeren ikke kan fremskaffe dokumentation for de anvendte betontypers trykstyrker, skal betonens trykstyrke måles på betonen i bygværket. Denne trykstyrke skal derefter henføres til en modenhed på 28 M-døgn og sammenlignes med det stillede krav i basisbetonbeskrivelsen og i projektmateriale. Ved denne sammenligning kan der henvises til betonnormen, DS 411 stk. 3.1.3.1:

»Krav til betonens trykstyrke kan også eftervises ved måling på prøver udtaget af den færdige konstruktion eller ved indirekte metoder anvendt på konstruktionen, fx efter DS 423.30, DS 423.31, DS 423.32 og DS 423.33, hvis en relation mellem de således bestemte værdier og den ovenfor beskrevne cylindertrykstyrke kan dokumenteres. Kravet kan regnes for opfyldt, såfremt der kan dokumenteres styrker på 80 pct. af det, der kræves af den ovenfor beskrevne cylinderstyrke«.

Udover disse metoder kan betonens trykstyrke bestemmes ved udtræksprøvning med CAPO-test. Derved kan betonens trykstyrke bestemmes svarende til en hærdningstid på fx ca. 5 år ved et 5-års eftersyn, dvs. ca. 1800 døgn i konstruktionen.

Efter betonnormen DS 411, stk. 3.1.3.1 kræves det, at styrkekravet er opfyldt efter 28 M-døgn, idet dog følgende bemærkes:

»Prøvning skal normalt foretages efter 28 døgn. Andre prøvningstids-punkter kan anvendes, fx efter DS 423.26, såfremt relationen mellem de herved konstaterede trykstyrker og den krævede 28 døgn styrke kan dokumenteres«.

Tilvæksten i betonens trykstyrke er afhængig af, hvilken cementtype og hvilken mængde tilsætning af flyveaske og/eller mikrosilica, der er anvendt. Basisbetonbeskrivelsen anfører ikke, hvad der er acceptabelt efter 5 års hærdning i det fri.

Et 5-års eftersyn skal blandt andet dokumentere betonens holdbarhed. Denne kan accepteres, blot betonens karakteristiske trykstyrke efter 5 års eksponering opfylder de krav, der er anført i tabel 2, samtidig med at de øvrige krav i basisbetonbeskrivelsen er opfyldt.

*Tabel 2. Skønsmæssig fastsættelse af »krav« til betons karakteristiske trykstyrke efter 5 års eksponering i konstruktionen i afhængighed af miljøklassen. Dette er ikke et normkrav, men et kvalificeret skøn. Ved in-situ måling af trykstyrken i konstruktionen skal mindst 80 pct. af den krævede trykstyrke kunne dokumenteres i henhold til krav i betonnormen DS 411.*

Mindste karakteristiske trykstyrke, MPa	Moderat miljøklasse	Moderat miljøklasse	Aggressiv miljøklasse
Efter 28 modenhedsdøgn	30	25	35
Efter 5 år	35	30	40

Da kravet ifølge betonnormen DS 411 kan regnes opfyldt, hvis der kan dokumenteres trykstyrker på 80 pct. af de krævede, skal betonens karakteristiske trykstyrke efter 5 års eksponering i fx aggressiv miljøklasse mindst være  $0,8 \cdot 40 = 32$  MPa, jf. tabel 2.

I tilfælde, hvor der til betonen ikke er anvendt flyveaske og/eller mikrosilica, vil der være mulighed for at estimere betonens trykstyrke ud fra *Ferets formel*, jf. Beton-Bogen, 2. udgave side 141. Kitmassens faststofkoncentration kan bestemmes ved punkttælling på tyndslib af betonprøver.

#### Indhold og fordeling af luftbobler

Basisbetonbeskrivelsen stiller krav til det totale luftindhold i frisk beton, som senere skal befinde sig i moderat eller aggressiv miljøklasse, og som kan blive

udsat for frysning i vandmættet tilstand. Det kan ikke afgøres, om dette krav har været opfyldt ved kontrolprøvningen af den friske beton, medmindre der foreligger data fra denne kontrolprøvning.

For beton i moderat og aggressiv miljøklasse stilles der også krav til både indholdet af luft og den specifikke overflade for luftbobler i hærdnet beton, under forudsætning af, at betonen kan blive udsat for frysning i vandmættet tilstand. Kravene i basisbetonbeskrivelsen er følgende:

- Luftindholdet skal være over 10 pct. af kitmassens rumfang.
- Den specifikke overflade af luftboblerne skal være over  $25 \text{ mm}^{-1}$ .

At disse krav er opfyldt, skal ikke dokumenteres ved den løbende kontrolprøvning. Derimod skal der altid foreligge tilfredsstillende resultater fra en forprøvning, hvis den anvendte beton er en *specialbeton*. Er den anvendte beton en *standardbeton*, skal luften i den hærdnede beton kontrolleres ved kontrolprøvning med mindst 1 prøve pr. 1000 m<sup>3</sup> produceret beton, dog mindst 1 prøve pr. kvartal.

Beton i moderat og aggressiv miljøklasse skal være luftindblandet ifølge kravene i basisbetonbeskrivelsens skema 3 og 6 for at sikre nødvendig frostbestandighed ved frysning i vandmættet tilstand.

Kravet om luftindblanding kan fraviges for bygningsdele, der ifølge projekt-materialet ikke kan udsættes for frost i vandmættet tilstand, jf. fodnote 6 til basisbetonbeskrivelsens skema 3. Krav om luftindblanding for beton i frilagte facader kan også fraviges, jf. fodnote 7 til samme skema.

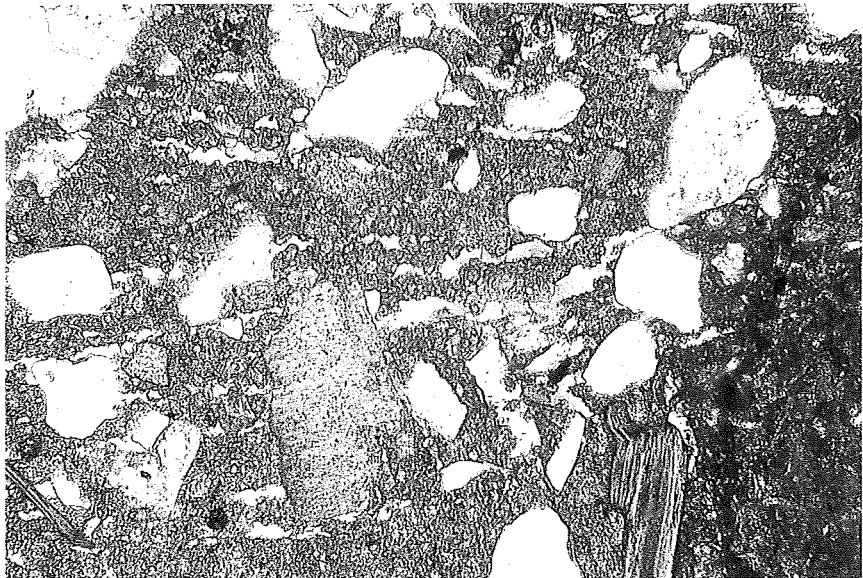
Af projekt-materialet skal det fremgå, om der er krævet anvendelse af luftindblandet beton. Hvis der er krævet luftindblanding, skal det dernæst fremgå af kontroljournalerne, at kravene til luftindholdet i den hærdnede beton har været opfyldt ved forprøvningen. Dernæst skal det fremgå af data fra kontrolprøvningen, at det stillede krav om et luftindhold på mindst 15 pct. af kitmassens rumfang er opfyldt ved vurdering efter DS 423.1.

#### Undersøgelser

Hvis bygningssejeren ikke kan fremlægge dokumentation for, at den anvendte beton har overholdt de stillede krav til den indblandede luft, skal der udtages prøver, som skal undersøges, fx som led i 5-års eftersynet.

Der er i princippet to forskellige metoder, hvormed man kan undersøge, om krav i basisbetonbeskrivelsen til betonens luftindhold kan regnes at have været opfyldt:

- Måling af luftboblernes rumfang og specifikke overflade efter prøvningsmetode TI-B4.
- Måling af betonens frostbestandighed.



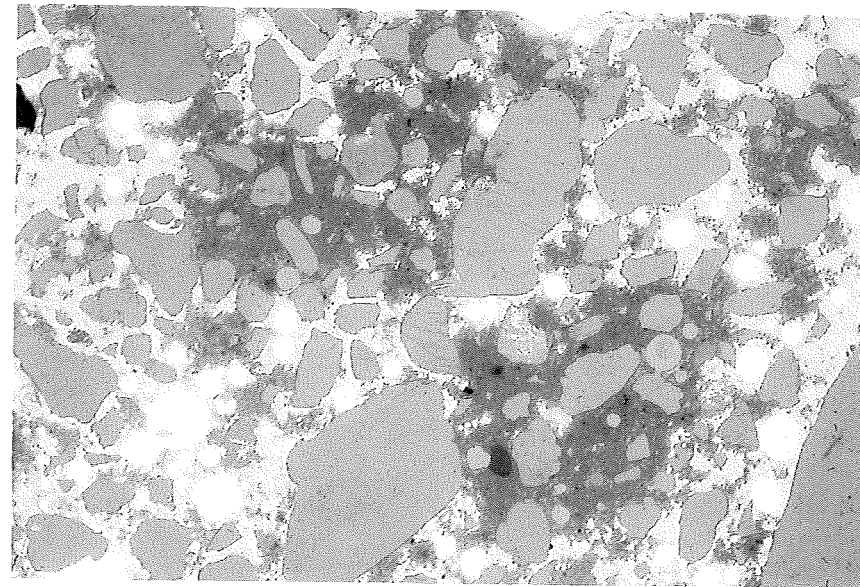
Figur 19. Typisk revnebillede i snit af beton, der har været udsat for frost før hærkning. Billedet er taget i polarisationsmikroskop med parallelle nicoller. Udsnittet er ca.  $1,5 \times 1,0$  mm. Foto: COWIconsult.

Den første metode er identisk med den prøvningsmetode, hvormed hærnet beton fra forundersøgelser undersøges. Derfor skal denne metode anvendes.

Den anden metode, der er en funktionsprøvning, kan kun komme på tale ved alternativ prøvning, se kapitlet: *Alternativ prøvning*, side 75. Basisbetonbeskrivelsen stiller ikke udfaldskrav og anfører ikke hvilken af eksisterende frostprøvningsmetoder, der i givet fald skal anvendes. Den tidligere frostprøvningsmetode i Danmark, DS 423.29: *Frostprøvning med saltopløsning*, marts 1984, er midlertidigt trukket tilbage, og i praksis erstattet af de svenske SS 13 72 44 metode IA: *Frostprøvning med saltopløsning* og metode IB: *Frostprøvning med fersk vand*.

#### Mikrostruktur

Bedømmelse af betonens indre mikrostruktur er en prøvning, der kun foregår ved forprøvning (prøvestøbning) med én prøve for specialbetoner og én prøve pr.  $1000 \text{ m}^3$  produceret beton, når der er tale om standardbetoner. En prøve består af tre udborede betoncylindre.

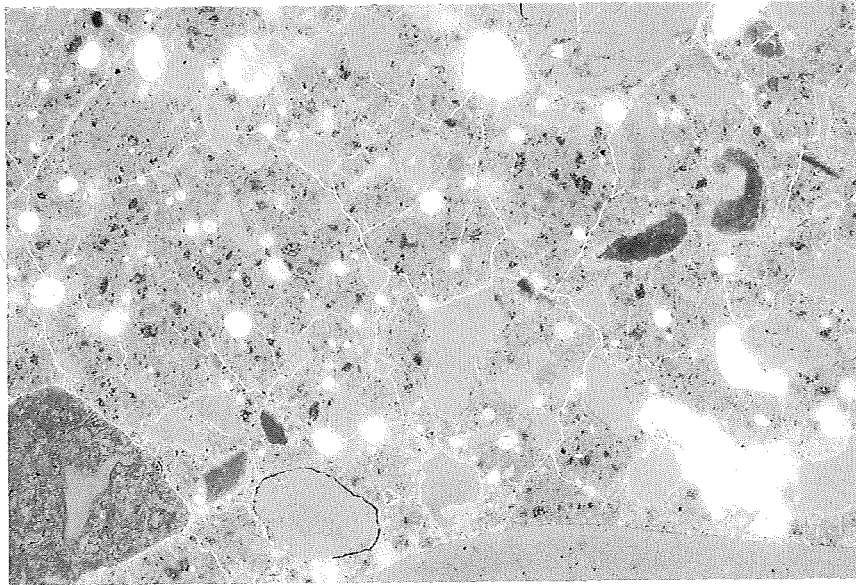


Figur 20. Udsnit af beton med meget inhomogen kapillarporøsitet, svarende til en variation i v/c-forholdet på mellem ca. 0,30 (mørke områder) og ca. 0,80 (lyse områder). Billedet er taget i fluorescensmikroskop. Udsnittet er ca.  $5 \times 3$  mm. Foto: COWIconsult.

Prøvningen har betydning for vurderingen af, om betonen kan opnå den tilstræbte sammensætning (se figur 20 og 21) og om det er sket uden defekter og inhomogeniteter. Den mikrostrukturelle analyse sker på planslib og tyndslib efter prøvningsmetoden TI-B5, jf. basisbetonbeskrivelsen side 39.

Prøvningsresultaterne vil foreligge i en rapport. Modsat andre udfaldskrav i basisbetonbeskrivelsen er der ikke talbaserede udfaldskrav til prøvningsresultaterne fra en mikrostrukturel analyse af beton i basisbetonbeskrivelsen. Det kræves i basisbetonbeskrivelsen, se dennes side 23, at følgende ikke må være konstateret ved en mikrostrukturel analyse:

- Inhomogeniteter i pastaen hidrørende fra doserings- og blandefejl.
- Ujævn fordeling af sten og sand.
- Kraftig bleeding omkring tilslag.
- Grove revner.
- Mange pastarevner.
- Mange vedhæftningsrevner eller vedhæftningsdefekter.
- Mange og store ansamlinger af luftbobler.



Figur 21. Snit i beton med stor intensitet af mikrorevner (revnevidde under 0,01 mm) i form af såvel pasta- som vedhæftningsrevner. Billedet er taget i fluorescensmikroskop. Udsnittet er ca. 1,5 × 1,0 mm. Foto: COWIconsult.

En erfaren betonpetrograf vil imidlertid ikke være i tvivl om, hvorvidt en betons mikrostruktur opfylder de stillede krav. I krav til mikrostrukturen for beton til konstruktioner for den faste forbindelse over Storebælt er der i modsætning til basisbetonbeskrivelsen stillet talbaserede krav til mikrostrukturen.

#### Eftersyn

Bygningsejeren skal i forbindelse med eftersynet fremlægge prøvningsrapporter, der dokumenterer, at det har været muligt at fremstille betonen med den krævede mikrostrukturelle kvalitet, hvis det har været krævet.

#### Undersøgelser

Hvis bygningsejeren ikke kan fremskaffe prøvningsrapporter om mikrostrukturen for de betontyper, der er anvendt i moderat og aggressiv miljøklasse, skal betonens mikrostruktur vurderes ved at undersøge udborede betonprøver.

Umiddelbart synes dette ikke at skulle kunne give problemer, da de samme prøvningsmetoder TI-B3 og TI-B5 skal anvendes. Det problemfyldte ligger imidlertid i, at der skal tages hensyn til følgende forhold:

- Udfaldskrav skal være de samme som på tidspunktet for bygværkets opførelse.
- Der er ofte en tidsmæssig udvikling af mikrodefekter i beton.
- Der kan være en signifikant forskel mellem koncentrationen af mikrodefekter i prøveudtagningens beton og i den færdige konstruktions beton.

Man har en del viden om det andet punkt, men kun en begrænset viden om det sidste punkt. Det kan derfor ikke undgås, at der ved en mikrostrukturel analyse ca. 5 år eller mere efter betonens udstøbning i nogen grad må forekomme subjektiv vurdering af visse krav til betonens mikrostruktur.

Mikrostrukturen af en 5 år gammel beton afhænger ikke alene af udstøbningsforhold og udstøbningsforhold, men som nævnt også af de påvirkninger, betonen har været udsat for.

Hvis der konstateres strukturdefekter, skal der dog være tale om en meget grov overskridelse af udfaldskravene, for at der bør ske kassation, hvis alle andre udfaldskrav er opfyldt.

#### Vurdering af betonarbejde

Betonarbejdet omfatter blanding, transport af beton fra blanderen til udstøbningsstedet, udstøbning og komprimering af beton samt efterbehandling af beton (fugt- og varmebeskyttelse). Undersøgelser af betonprøver fra betonkonstruktionen kan naturligvis ikke give et direkte svar på, hvad der er sket i byggeperioden; kun et studium af kontroljournaler mv. vil kunne give et direkte svar. Det er imidlertid muligt at observere konsekvenser af dårligt betonarbejde. Mulighederne herfor gennemgås i det følgende.

#### Blanding, transport, udstøbning og komprimering

Basisbetonbeskrivelsens og betonnormens krav til betonarbejdet opfyldes i stor grad ved inspektion af betonarbejdets metoder og registrering i kontroljournaler. Foreligger disse kontroljournaler ikke ved eftersynet, vil den eneste kontrolmulighed være en undersøgelse af, om der kan observeres sådanne makro- og mikrodefekter, som kan skyldes, at betonarbejdet ikke har været udført konditionsmæssigt.

#### Efterbehandling ved udtørningsbeskyttelse

Krav i basisbetonbeskrivelsen til betons efterbehandling ved udtørningsbeskyttelse omfatter følgende forhold:

- Etablering af udtørningsbeskyttelse, inden fugtfordampningen kommer over en vis, nærmere specificeret mængde pr. arealenhed af frie betonoverflader. Kravet er formuleret således, at der er passende lille risiko for revnedannelse som følge af plastisk svind.

■ Bevarelse af udtørningsbeskyttelsen i en nærmere specificeret periode, der afhænger af betonens  $w/c$ -forhold og miljøklasse. Kravet er formuleret således, at der er passende lille risiko for revnedannelse som følge af udtørningssvind, når udtørningsbeskyttelsen fjernes, dvs. at betonens trækstyrke er så udviklet, at betonens svindtøjninger kan optages uden, eller med kun beskedne revnedannelse til følge.

Kontrol af betons efterbehandling sker under byggeriets opførelse ved inspektion af konstruktionen og registrering af start- og sluttidspunkt for de valgte beskyttelsesforanstaltninger.

Foreligger de anvendte kontroljournaler ikke ved eftersynet, vil den eneste kontrolmulighed være en undersøgelse af, om der kan observeres skader fra ikke-konditionsmæssig efterbehandling, fx svindrevner i konstruktionens yderste betonlag. Dét vil kunne observeres i forbindelse med den mikrostrukturelle analyse af udborede betonprøver. Det kan dog være vanskeligt at relatere skader til konkrete handlinger i forbindelse med efterbehandlingen.

### *Beskyttelse mod skader fra betons hærdevarme*

Basisbetonbeskrivelsen og betonnormen stiller ikke éntydige og operationelle krav til de forholdsregler, der skal tages for at undgå skader fra betonens hærdevarme. Supplerende krav skal derfor findes i projektmaterialet. Kontrollen med hærdevarmens udvikling og fordeling i konstruktionen udføres ved måling af betontemperaturen. Disse kontroldata skal indføres i kontroljournaler.

Hvis disse kontroljournaler ikke kan fremlægges, fx ved 5-års eftersynet, er den eneste mulighed for kontrol at undersøge betonen for eventuelle skader, der kunne være opstået som følge af, at temperaturkrav ikke har været overholdt. Selv om skader kan registreres, kan det dog være vanskeligt at afgøre hvilke manglende forholdsregler under udførelsen eller i efterbehandlingen, der har været årsag til de observerede skader.

## Alternativ prøvning

Det virker ikke særlig hensigtsmæssigt at foretage en undersøgelse af betons sammensætning, for derefter at afgøre, om udfaldskrav i basisbetonbeskrivelsens skema 3 har været opfyldt, da bygværket blev opført.

Er betonen sammensat af forligelige delmaterialer, skal betonen blot opfylde et passende tæthedskrav for at kunne opfylde forventningen at være holdbar. Tæthedskravet er naturligvis afhængigt af den miljøklasse, hvori betonen skal befinde sig.

Det vil være mere overkommeligt og som regel billigere at undersøge betonens tæthed end at sandsynliggøre, om alle betonbeskrivelsens detailkrav har været opfyldt, da bygværket blev opført. Det kan imidlertid være et problem, at basisbetonbeskrivelsen ikke specificerer betonens tæthedskrav, og at eftersynsfirmaet derfor skal vurdere, om en målt tæthed er tilstrækkelig.

### **Carbonatisering**

Beton i moderat miljøklasse, hvor der ikke er særlige krav om vandtæt beton, skal beskytte armeringen mod rustdannelse som følge af carbonatisering. Den største carbonatiseringsdybde i moderat miljøklasse vil være at finde i et område, hvor betonoverfladen er beskyttet mod slagregn.

Der kan udbores betonprøver i sådanne slagregnsbeskyttede områder, og betonens carbonatiseringsdybde kan måles på tyndslib eller ved pH-indikator, jf. RILEM CPC-18.

Betonens tæthed i moderat miljøklasse over for carbondioxid kan accepteres, hvis overfladecarbonatiseringen er under 5 mm efter 4,5-5 år.

### **Vandpermeabilitet**

Beton i aggressiv miljøklasse kræves sammensat således, at betonen er vandtæt. Der kan i projektet også være stillet krav om, at beton i moderat miljøklasse skal være vandtæt.

Der findes flere prøvningsmetoder til at undersøge, om beton kan regnes at være vandtæt, fx ISO/DIS 7031 og omvendt kopforsøg, jf. Beton-Bogen, 2. udgave, side 632. Betonens tæthed i aggressiv miljøklasse over for vandindtrængning kan accepteres, hvis mindst ét af følgende udfaldskrav opfyldes:

■ Indtrængningsdybden efter ISO/DIS 7031 er under 15 mm, målt på udbo-rede betonprøver, udsat for ensidigt vandtryk over en periode på 3 døgn med

tryk på henholdsvis 0,3 MPa, 0,5 MPa og 0,7 MPa med ét døgn ved hvert trykniveau.

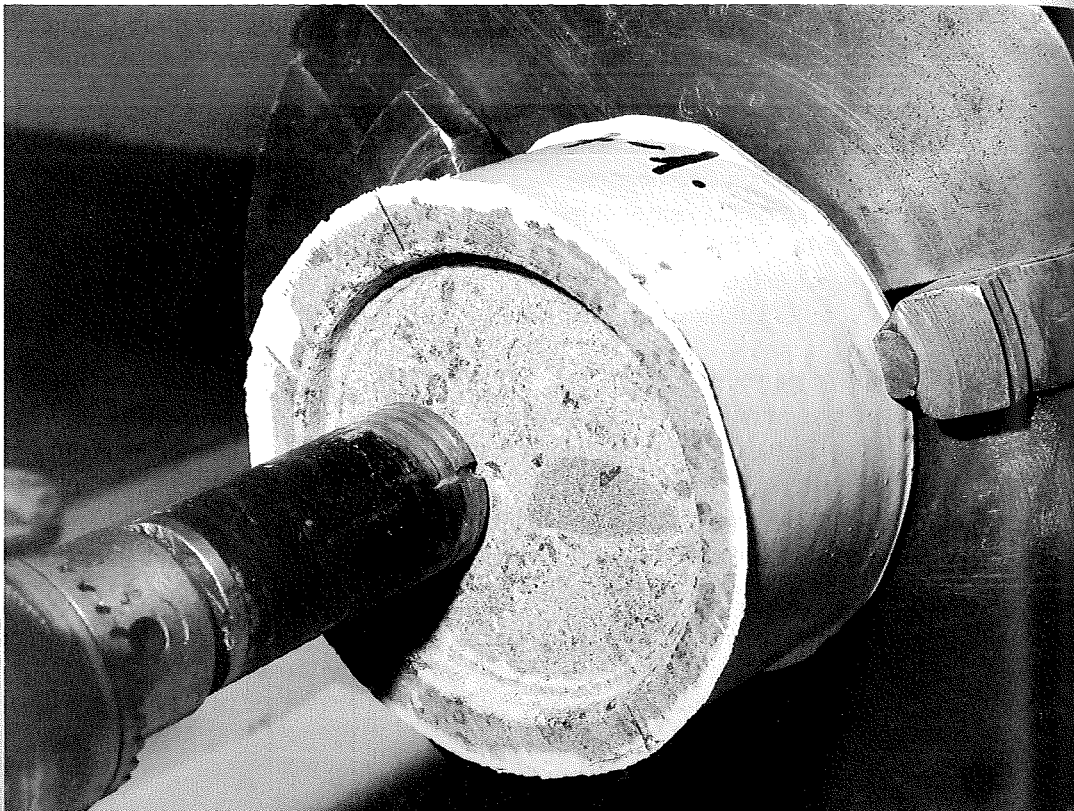
■ Vandpermeabilitetskoefficienten, målt ved omvendt kopforsøg, er mindre end  $10^{-13}$  s.

Disse værdier er ikke normkrav, men bygger på kvalificerede krav og erfaringer fra måling på beton, som betragtes som vandtæt.

### Chloridindtrængning

Udsættes beton i aggressiv miljøklasse for chloridlast, fx fra glatførebekæmpelse med chloridholdigt tørsalt eller havvand, skal betonen være sammensat således, at armeringen er beskyttet mod korrosion fra chloridangreb.

*Figur 22. Chloridprofilen, der beskriver indtrængning af chlorid i betonoverfladen, bestemmes ved kemisk analyse af affræsedes pulverprøver fra betonoverfladen. Tynde lag fræses af betonen, parallelle med overfladen, således at der opnås et passende antal pulverprøver, som er tilstrækkeligt store til kemisk analyse. De enkelte lags tykkelse kan være ned til ca. 0,7 mm. Der holdes en kantafstand på 5-10 mm for at undgå randeffekter. Foto: AEC.*



En måling af betonens chloridindtrængning kan ske ved prøvningsmetoden APM 302. Krav til betonens chloridbremsende egenskab er ikke anført i basisbetonbeskrivelsen eller betonnormen. Kravet kan imidlertid være, at betonen ved chloridpåvirkning ikke tillader en indtrængning, svarende til chloridkoncentrationen 0,4 masse-pct. af betonens pulverfraktion, der går længere ind end 7 mm efter 35 døgn eksponering, svarende til påvirkning i overensstemmelse med prøvningsmetoden APM 302.

### Frostbestandighed

Det har tidligere været muligt at bestemme frostbestandigheden af udborede betonprøver efter DS 423.29: *Frostprøvning med saltopløsning*. Denne standard er midlertidigt trukket tilbage og en revideret udgave er under udarbejdelse. Når den reviderede udgave foreligger, vil der blive mulighed for at anvende denne prøvningsmetode som alternativ til prøvningsmetoden TI-B4: *Luftboblemling af hærdnet beton*.

*Figur 23. Udsavet betonprøve, underkastet frost/tø-prøvning med prøvningsmetoden SS 13 72 44. Bemærk, at stentilslaget er frostbestandigt, men at betonens kitmasse tydeligt er smuldret. Kilde: Statens Provningsanstalt, Borås, Sverige.*





Det ser ud til, at den svenske udviklede frostprøvningsmetode SS 13 72 44 metode IA: *Frostprøvning med saltopløsning* og metode IB: *Frostprøvning med fersk vand* vil vinde indpas som en NT Build metode, som derefter vil gælde også for Danmark.

### Restekspansion

Beton i moderat og aggressiv miljøklasse kræves sammensat således, at der ikke opstår skadelig alkalireaktion. Det sker ved at opfylde krav i basisbetonbeskrivelsen til indholdet af alkalireaktive korn i tilslagets sand- og stenfraktion i afhængighed af betonens alkaliindhold.

En måling af den potentielle alkalireaktivitet kan ske ved at måle ekspansionen for udborede betonkerner under lagring i en mættet NaCl-opløsning ved 50 °C. Betonkernernes ekspansion efter en fikseret eksponeringsperiode er da et mål for betonens resterende, potentielle alkalireaktivitet.

Der findes også prøvningsmetoder for måling af restekspansionen i fersk vand, men ingen af prøvningsmetoderne er standardiserede, accepterede eller omtalt i fx basisbetonbeskrivelsen.

## Prøveudtagning

Som omtalt tidligere kan en betonundersøgelse ikke give et svar, som er mere dækkende end svarende til de udtagne betonprøvers repræsentativitet. Derfor er planlægning af prøveudtagningen, specielt valg af stikprøvestørrelse, af betydning for udsagnet om betonen. I det følgende gives et resumé af de forhold, som er nævnt i det foregående, og som har betydning for en optimal prøveudtagning.

### Principper for prøveudtagning

Man kan ved undersøgelse af en skadet betonkonstruktion gå frem på to principielt forskellige måder:

- Der kan udtages betonprøver, tilfældigt fordelt over hele den del af betonkonstruktionen, som ønskes undersøgt. Hertil kræves forholdsvis mange prøver, men man opnår et godt billede af betonkonstruktionens almentilstand.
- Der kan selektivt udtages nogle få prøver i de stærkest forvitrede partier af betonkonstruktionen og i de øjensynligt mest holdbare partier af betonkonstruktionen. Derved får man ikke et repræsentativt billede af betonkonstruktionens almentilstand, men oplysning om ekstremtilstandene.

Hvilken af disse fremgangsmåder, der vil være aktuel i et givet tilfælde, afhænger alene af formålet med betonundersøgelsen.

Ved et 5-års eftersyn kan dog kun den først anførte måde anvendes.

### Observationer

Ved et eftersyn med betonundersøgelser kan prøveemner bestå af følgende:

- Indborede CAPO-test inserts, hvis betonens karakteristiske trykstyrke skal bestemmes.
- Borekerner, hvis andre af betonens egenskaber eller karakteristika skal bestemmes. Borestøv, udtaget med slagboremaskine, kan også anvendes som prøveemne til orienterende bestemmelse af betonens chloridindhold.

Prøveemner kan være imaginære, som fx ved ikke-destruktiv måling (dæklagsmåling og elektro-kemisk potentialmåling).

### *CAPO-test prøver*

Bestemmelse af betons trykstyrke kan foretages som udtræksprøvning med CAPO-test. Denne prøvningsmetode er ikke dansk standard, som fx LOK-test er det, jf. DS 423.31. Prøvningsmetoden CAPO-test er derfor detaljeret beskrevet side 95.

Det fremgår af denne beskrivelse, at en observation er gennemsnittet af udtrækskræfter for mindst to indborede CAPO-test inserts, placeret i samme vandrette lag i ét parti af kontrolafsnittet. Der er desuden visse bindinger på placeringen af CAPO-test inserts.

### *Borekerner*

Andre betonegenskaber og -karakteristika bestemmes ved analyse af udborede betonprøver. Det kan ske ved kemisk analyse (fx chloridindhold), ved luftbobleanalyse (frostbestandighed) og ved mikrostrukturel analyse (cementtypeidentifikation, sandfraktionens alkalireaktivitet mv.).

En observation er gennemsnittet af tilsvarende analyseresultater fra 2-3 borekerner, jf. de respektive prøvningsmetoder og DS 423.1.

### **Stikprøvestørrelse**

Antallet af prøver i et kontrolafsnit vil så godt som altid være mindre end antallet af partier i kontrolafsnittet. Derfor taler man om stikprøvekontrol af betonen i det pågældende kontrolafsnit. Skulle antallet af prøver pr. kontrolafsnit undtagelsesvis blive lig med antallet pr. kontrolafsnit, bliver der pr. definition (jf. DS 423.1) tale om totalkontrol.

### *Mindste stikprøvestørrelse*

Et kontrolafsnits mindste stikprøvestørrelse afhænger af antallet af partier (fx blandesatser) i det pågældende kontrolafsnit. Består kontrolafsnittet af mindst 3 partier, må mindste prøveantal ikke være mindre end anført i DS 423.1. Består et kontrolafsnit af mindre end 3 partier (blandesatser), skal der udføres totalkontrol, dvs. at én prøve fra hvert parti skal undersøges, jf. DS 423.1.

### *Valg af stikprøvestørrelse*

Principielt må det sikres, at der for alle krav opnås samme sandsynlighed for deres opfyldelse ved prøvningen. Skal der prioriteres, må det først og fremmest være på grundlag af vægning af kravene hvad angår brudsikkerhed og holdbarhed. Først i anden omgang må prøvningsudgifterne tages i betragtning.

### **Beslutningsregler**

Når samtlige observationer fra et eftersyn med betonundersøgelser foreligger, skal observationerne vurderes. De skal for styrkeresultaters vedkommende

vurderes efter beslutningsreglen for kontrol ved kontinuert måling efter DS 411 pkt. 8.1.1. Andre observationer vurderes efter beslutningsreglen for kontrol ved alternativ måling efter DS 423.1.

Der vil som regel være tale om stikprøvekontrol ved et eftersyn med betonundersøgelser. Dog kan der være særligt små kontrolafsnit, som kan blive vurderet ved totalkontrol. Ved totalkontrol skal hver observation opfylde det stillede udfaldskrav i basisbetonbeskrivelsen, hvis betonen skal accepteres, jf. DS 423.1.

# Eksempel på betonundersøgelse

I det følgende omtales uddrag af en betonundersøgelse, som er gennemført for at opklare, om betonen med hensyn til en række udvalgte egenskaber og karakteristika opfyldte den dagældende betonnorm og betonbeskrivelse, samt for at klarlægge årsager til observerede betonskader og derved give grundlag for valg af reparationsmetode. For at begrænse eksemplets omfang er der kun omtalt typiske undersøgelser, som kan illustrere nogle af de emner, der er omtalt i det foregående. Eksemplet er ikke fuldt dækkende for enhver form for betonundersøgelse.

## Beskrivelse og skader

Adgang til lejligheder i et toetages boligbyggeri sker fra uoverdækkede altangange, hvortil der fører udvendige trapper fra niveau.

## Konstruktionsprincip

Altangangskonstruktionen er opført af fabriksfremstillede betonelementer, som er simpelt understøttet på rammer, der også er af fabriksfremstillede betonelementer. Trapperne er ligeledes fabriksfremstillede betonelementer.

## Betonbeskrivelsens krav

Bygværket er opført sidst i 1970'erne, dvs., at betonkonstruktionen blandt andet skal opfylde krav i betonnormen DS 411, 2. udgave december 1973. Foruden generelt at opfylde betonnormens krav, har betonbeskrivelsen specielt formuleret følgende krav for alle udendørs placerede betonelementer:

- Betonens karakteristiske vand/cement-forhold skal være  $(v/c)_k \leq 0,7$ .
- Betonen skal være luftindblandet, idet der henvises til DIF's NP-111-R, anvisning om »tilsætningsstoffer til beton«, 1. udgave februar 1973.
- Stentilslag for beton skal bestå af granit.
- Betonens karakteristiske trykstyrke skal være  $f_{ck} \geq 20$  MPa efter 28 døgn; prøvelegemer skal være fremstillet og lagret efter DS 423.21 og prøvet efter DS 423.23.
- Hovedarmeringens dæklag skal mindst være  $c_1 \geq 20$  mm og i øvrigt opfylde krav, stillet af betonnormen DS 411.

## Observerede betonskader

På altangangskonstruktionen kan der observeres forskellige former for forvitring:

### Altangangselementer

Der er på elementernes oversider observeret udbredt smuldring og afskalning af betonoverfladen. Armeringen er flere steder stærkt korroderet, specielt i områder, hvor vandafledningen ikke har været effektiv.

### Trappeløbslementer

Der er observeret springerdannelse og blotning af tilslaget ved udbredt smuldring og afskalning af betonoverfladen. Armeringen er flere steder stærkt korroderet.

### Rammelementer

Der er observeret omfattende korrosion af armering med afsprængning af dæklaget til følge, specielt i områder, der har været udsat for nedsvivende vand som følge af utætte fuger og manglende vandafledning.

## Problemstilling

Det skal ved analyse af beton i altangang, trappeløb og rammer undersøges, om betonen opfylder de stillede krav i betonnorm og betonbeskrivelse for det pågældende byggeri. Undersøgelsen begrænses dog her til følgende egenskaber og karakteristika:

- Vand/cement-forhold.
- Luftindhold.
- Stentype.
- Chloridindhold.
- Trykstyrke.
- Dæklag.

Ved vurdering af observationer anvendes så vidt muligt de beslutningsregler, som var gældende for byggeriet under projektering og opførelse, nemlig betonnormen DS 411, 2. udgave 1973 med tilhørende standarder.

## Prøvningsomfang

Byggeriet omfatter følgende betonelementer, som skal gøres til genstand for betonundersøgelsen:

- Altangangselementer,  $N_a = 36$  stk.
- Trappeløb,  $N_t = 6$  stk.
- Rammeelementer,  $N_r = 39$  stk.

### Kontrolafsnit og partistørrelser

Der er ikke øjensynlige tegn på forskelle i materialer eller udførelse inden for hver af de tre grupper af elementtyper. De pågældende tre typer betonelementer repræsenterer derfor hvert sit kontrolafsnit, og hvert betonelement repræsenterer et parti.

### Mindste stikprøver

De mindste stikprøver efter tabel 1 i DS 423.1, 2. udgave 1985, anføres kun til orientering, da standardens 2. udgave ikke var gældende for det pågældende byggeri:

- Altangangselementer, min  $n_a = 7$  stk.
- Trappeløb, min  $n_t = 3$  stk.
- Rammeelementer, min  $n_r = 7$  stk.

### Valg af stikprøvestørrelse

Størrelsen af stikprøven afhænger i nogen grad af hvilke egenskaber eller karakteristika, der skal bestemmes. Principielt må det sikres, at der for alle krav kan opnås tilnærmelsesvis samme sandsynlighed for deres opfyldelse ved prøvningen.

Skal der prioriteres, må det først og fremmest være på grundlag af en vægtning af krav til bæreevne og holdbarhed. I anden række kan prøvningsudgifter tages i betragtning. Det skal dog erindres, at prøvningsudgifter kan nedbringes ved en optimeret faseopdeling af betonundersøgelser.

Er prøvningsudgifterne for den mindst tilladte stikprøve (efter DS 423.1) store, bør det således overvejes at opdele undersøgelsen i flere faser. I første fase vælges et lille prøveantal. Viser observationerne fra disse prøver, at et eller flere krav ikke er opfyldt, vil næste fase af undersøgelsen ofte kunne udelades.

### Betonens v/c-forhold, tilslag, luft- og chloridindhold

Undersøgelsen af betonens sammensætning faseopdeles. I første fase foretages en mikrostrukturel analyse ved tyndslibsundersøgelser af tre prøver, hver med ét emne (tyndslib og planslib) fra hvert af de tre kontrolafsnit.

Vurdering af observationer fra denne orienterende betonundersøgelse vil være afgørende for den videre undersøgelse.

### Betonens trykstyrke og armeringens dæklag

Undersøgelse af betonens trykstyrke faseopdeles *ikke*. Der gennemføres derfor måling af betonens trykstyrke ved udtræksprøvning med CAPO-test og måling af armeringens dæklag med dæklagsmåler, svarende til mindste stikprøve efter DS 423.1, selv om DS 423.1 ikke var gældende på opførelsestidspunktet. Observationer af dæklagstykkelser skal i dag vurderes som beskrevet i DS 1050, jf. DS 423.1 pkt 7.1.2.

For at fastlægge dæklagets (statistiske) fordeling kan der principielt set foretages såvel en totalundersøgelse som en stikprøveundersøgelse. Det vælges dog her at lade foretage en stikprøveundersøgelse på 7 altangangselementer.

### Prøver og prøveudtagning

En indledende visuel inspektion af bygværket med en tilstandsregistrering giver begrundet mistanke om, at betonens smuldring skyldes frostangreb, og at armeringens korrosion skyldes chloridangreb. Det besluttes dernæst at foretage en indledende betonundersøgelse med blot tre prøver fra hvert kontrolafsnit. Det forventes herved, at årsagen til de observerede skader kan dokumenteres, eventuelt ved supplerende prøver.

### Målinger i indledende fase

I den indledende fase foretages måling af følgende af betonelementernes egenskaber og karakteristika:

- Betonens v/c-forhold, indhold og fordeling af luft samt observationer til fastlæggelse af årsag til betonens forvitring foretages ved mikrostrukturel analyse (tyndslib).
- Stentilslagets indhold af bjergarter (planslib).
- Betonens indhold af chlorid (RCT-metoden).
- Betonens trykstyrke ved udtræksprøvning (CAPO-test).
- Armeringens dæklag (dæklagsmåler).

### Valg af prøver og emner

De tre elementtyper, altangangselementer, trappeløbselementer og rammelementer behandles principielt ens, men prøveantal og emneantal vil afhænge af hvilke egenskaber og karakteristika, der skal måles.

### Betonens v/c-forhold, tilslag og luft

I den indledende undersøgelse vælges som omtalt tre prøver pr. kontrolafsnit, og der vælges kun ét emne pr. prøve. Placering af prøverne vælges selektivt,

idet to prøver vælges i stærkt skadede (afskallede) områder og én prøve vælges i det mindst skadede område inden for det pågældende kontrolafsnit.

Betonprøverne er udborede betonkerner, ca. 100 mm lange og 75 mm i diameter.

Planslib og tyndslib anvendes desuden til om muligt at fastslå årsagen til de observerede betonskader.

#### *Betonens chloridindhold*

I den indledende undersøgelse vælges som omtalt tre prøver, og der vælges to emner pr. prøve. Placering af prøverne vælges selektivt, idet to prøver vælges i stærkt skadede områder (armeringskorrosion), og én prøve vælges i det mindst skadede område inden for det pågældende kontrolafsnit.

#### *Betonens trykstyrke*

I undersøgelsen vælges den mindste stikprøve, og der vælges to emner (dvs. CAPO-test inserts) pr. prøve. Placering af prøverne vælges tilfældigt fordelt i kontrolafsnittet.

I det følgende omtales kun måling af betonens trykstyrke i altangangselementerne.

#### *Armeringens dæklag*

For at fastlægge dæklagets statistiske fordeling kan der foretages en totalundersøgelse eller stikprøveundersøgelse. I 1970'erne var der i betonnormen ikke fastlagt krav til mindste stikprøvestørrelse. Her vælges det at foretage undersøgelse af syv tilfældigt udtagne altangangselementer, svarende til mindste stikprøvestørrelse efter nugældende DS 423.1.

I undersøgelsen vælges tre målinger pr. armeringsstang i hovedarmeringen. Med 8 armeringsstænger pr. altangangselement i hovedarmeringen skal der således foretages 168 dæklagsmålinger på altangangskonstruktionen.

Dæklagsmålinger i trappeelementerne planlægges på samme måde som for altangangselementerne. Dæklagsmålinger i rammerne foretages ved ender og midte på søjler og bjælker i rammerne.

I det følgende omtales kun dæklagsmålinger i altangangselementernes undersider.

#### **Målinger og vurderinger**

I det følgende gives uddrag af de vigtigste resultater fra undersøgelsesrapporten. Der er således kun medtaget dét observations- og talmateriale, som er nødvendigt for en vurdering af de udførte målinger. En rapport vil normalt være væsentlig mere omfattende end det her gengivne.

#### *Betonens v/c-forhold*

Tyndslib af borekerner fra såvel altangangselementer, trappeløbelementer som rammelementer viser, at betonen i de undersøgte prøver har opfyldt de stillede krav til v/c-forhold, idet undersøgelsesrapporten giver følgende beskrivelse af cementpastaen i betonprøver fra rammelementer:

*»Der er til betonen anvendt en groft formålet cement, sandsynligvis en almindelig portlandcement. Cementpastaen er forholdsvis homogen og har en kapillarporøsitet, svarende til et ækvivalent v/c-forhold på 0,50-0,60, vurderet efter laboratoriets referenceprøver. Cementpastaen er overfladecarbonatiseret i en dybde på 9,3-11,2 mm. Pastarevner (revnevidde under 0,005 mm) forekommer spredt. Ud over pastarevner ses der ingen revner i de undersøgte prøver«.*

Vejledningen til betonnormen DS 411, 2. udgave 1973, jf. ad 8.3.2, giver følgende vejledning, der kan anvendes ved vurdering af målte v/c-forhold:

*»For armeret beton i miljøklasse A og B foreskriver normen, at det karakteristiske v/c-forhold skal være mindre end henholdsvis 0,6 og 0,7. For at overholde disse krav vil det være hensigtsmæssigt at fastlægge blandingsforholdet således, at v/c-forholdet bliver ca. 0,1 mindre end den specificerede værdi, afhængigt af den forventede spredning og antallet af målinger«.*

Der er ved bestemmelse af betonens v/c-forhold ikke foretaget en tilfældig prøveudtagning og desuden er prøveantallet pr. kontrolafsnit mindre end den mindste stikprøve. Derfor kan der ikke foretages en streng statistisk vurdering. De målte v/c-forhold er 0,50 til 0,60, som er mindst 0,1 mindre end det stillede krav; derfor anses det stillede krav for opfyldt. Hvis de målte v/c-forhold i den indledende fase havde været højere, kunne man have målt v/c-forhold på prøver, tilfældigt udtaget i kontrolafsnittet, og heraf bestemt gennemsnit  $(v/c)_m$  og spredning  $s$ . Derefter kunne en vurdering ske efter følgende beslutningsregel:

$$(v/c)_m + k \cdot s \leq 0,7 \Rightarrow \text{accept}$$

Heri er  $k$  en faktor, som aflæses i DS 411, 2. udgave 1973, tabel 2.2, i afhængighed af stikprøvens størrelse  $n$ .

#### *Indhold og fordeling af luft i betonen*

Tyndslib af borekerner fra såvel altangangselementer, trappeløbelementer som rammelementer viser, at der *ikke* er tegn på, at betonen har været luftindblandet, idet undersøgelsesrapporten giver følgende beskrivelse af betonernes luftindhold:

*»Der ses ingen tegn på luftindblanding i tyndslib af betonen. Ved punkttælling er luftindholdet i de undersøgte tyndslib målt til 1-2 pct. af betonens volumen,*

hvilket er lavt selv for en ikke-luftindblandet beton. Den observerede luft findes som spredte bobler og indkapslinger i kitmassen med diameter 0,05-1,8 mm.

Da der ikke er observeret tegn på luftindblanding i de undersøgte betonprøver, foretages der ikke en måling af luftboblernes fordeling, dvs. luftboblernes specifikke overflade, og en fase 2 i betonundersøgelsen iværksættes ikke.

### Betonens stentilslag

Undersøgelserapporten giver blandt andet følgende oplysninger om stentilslaget i de undersøgte betonprøver:

#### Altangangselementer og rammeelementer

Planslib af borekerner fra altangangselementer og rammeelementer viser, at der udelukkende er anvendt granit og gnejs som stentilslag. Det stillede krav til anvendt stentilslag kan derfor regnes at være opfyldt.

#### Trappeløbsselementer

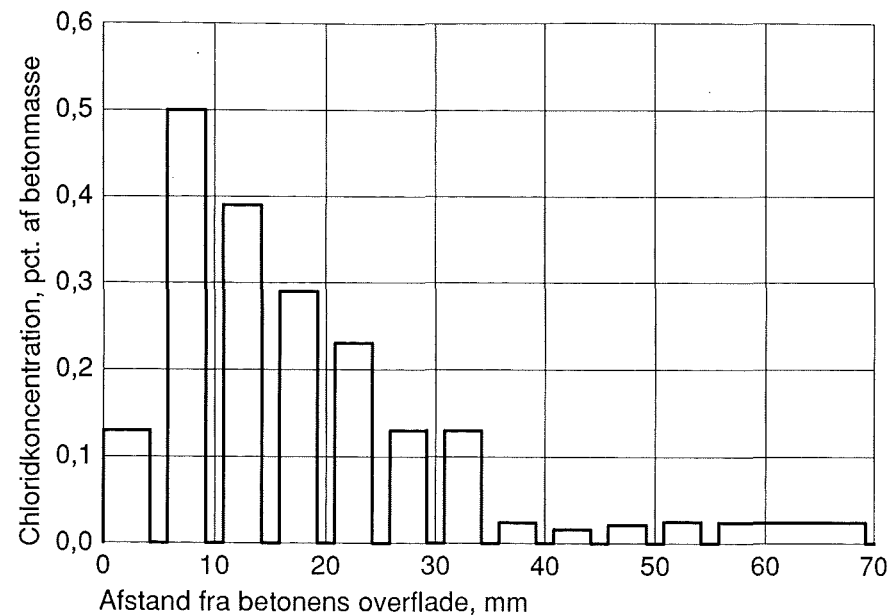
Planslib af borekerner fra trappeløbsselementer viser, at der ikke udelukkende er anvendt granit som stentilslag, idet undersøgelsesrapporten giver følgende beskrivelse af stentilslaget:

»Betonens stentilslag består (med aftagende intensitet) af tæt flint, tæt flint med partier af porøs flint, porøs flint, kalksten, granit og gnejs. Størst målte partikelstørrelse er 15 mm«.

### Betonens chloridindhold

Analyse af chloridindholdet i prøver, udtaget fra altangangskonstruktionens betonelementer viser, at chloridindholdet i områder med korrosionsskader er betydeligt over, hvad der anses for kritisk. Derimod er chloridindholdet ubetydeligt i områder uden armeringskorrosion. Undersøgelserapporten giver fx følgende målinger af chlorid i betonprøver fra rammeelementer:

»Der er tre steder i rammeelementer foretaget analyse for syreopløseligt chlorid ( $Cl^-$ ) ved RCT-metoden, dvs. på borestøv fra betonen. Borestøvet er udtaget i armeringens dæklag, 10-20 mm under betonoverfladen. Analyserne har for to betonprøver ud for armering med korrosionsskader vist chloridindhold på henholdsvis 0,72 og 1,43 pct. af betonens masse. En betonprøve i et område uden synlige korrosionsskader på armeringen har vist et chloridindhold på 0,02 pct. af betonens masse. Chloridindholdet i betonen ca. 50 mm under overfladen (uforstyrret dybde) er fundet til mellem 0,01 og 0,02 pct. af betonens masse«.



Figur 24. Chloridprofil i et område af et rammeelement beton, hvor der er korroderet armering. Chloridprofilen har det typiske forløb, som kendes fra beton, hvor chlorid er trængt ind fra overfladen og hvor overfladen er carbonatiseret og eventuelt udvasket. Det ses, at chloridindholdet i betonen nær armeringen er større end det, der betragtes som kritisk, dvs. korrosionsfremkaldende ved tilstedeværelse af fugt og ilt. Kilde: AEC.

Det kritiske chloridindhold i beton anses normalt at være af en størrelsesorden på 0,05-0,06 pct. af betonens masse, lidt afhængig af betonsammensætningen, betonens fugtindhold mv.

De her udførte chloridmålinger suppleres med bestemmelse af et chloridprofil i et område af betonen med armeringskorrosion. Figur 24 viser en grafisk fremstilling af det bestemte chloridprofil. Profilet har det typiske forløb, som kendes fra beton, der har været påvirket af chlorid på overfladen og hvor betonoverfladen er carbonatiseret i en vis dybde.

Hvis der havde været mistanke om, at der havde været blandet chlorid i betonen, fx for at accelerere afbindingen, skulle der havde været udtaget flere betonprøver til undersøgelse for indhold og fordeling af chlorid.

### Betonens trykstyrke

Betonens trykstyrke er målt ved udtrækssprøvning med CAPO-test. For altangangselementer er der opnået de i tabel 3 viste måledata.

Tabel 3. Udtrækskræfter, målt ved undersøgelse af styrken af altangangselementer. Der er undersøgt 7 prøver à 2 emner (CAPO-test inserts). Kilde: AEC.

Prøve nr.	Sande udtrækskræfter		Gennemsnit kN	Trykstyrke MPa
	kN	kN		
CAPO 1	38,5	40,5	39,5	43,13
CAPO 2	41,0	40,0	40,5	44,38
CAPO 3	43,5	45,5	44,5	49,38
CAPO 4	43,0	42,0	42,5	46,88
CAPO 5	43,5	44,5	44,0	48,75
CAPO 6	46,5	49,5	48,0	53,75
CAPO 7	39,0	40,0	39,5	43,13
Gennemsnit				47,05

### Vurdering

Efter betonnormen DS 411 fra 1973, jf. pkt. 8.3.1, gælder der følgende:

»Når betonens styrke måles på den færdige konstruktion, og gennemsnitsværdi  $\sigma_m$  og standardafvigelse  $s$  bestemmes, regnes kravet til den karakteristiske trykstyrke opfyldt, såfremt  $\sigma_m - k \cdot s$ , hvor  $k$  tages fra tabel 2.2, er større end 90 pct. af den krævede styrke«.

I det her anførte tilfælde er gennemsnitsværdien  $\sigma_m = 47,05$  MPa og standardafvigelsen er  $s = 3,90$  MPa. Af tabel 2.2 i DS 411 fra 1973 fremgår det, at  $k = 1,79$  for en stikprøvestørrelse på  $n = 7$ . Kravet til betonens karakteristiske trykstyrke var ved  $M = 28$  modenhedsdøgn  $f_{ck} \geq 20$  MPa i henhold til bygværkets projektmateriale. Det kan forventes, at betonstyrken har udviklet sig siden opførelsen. Det skønnes derfor, at et tilsvarende krav til betonens langtidsstyrke vil være 30 MPa. Det ses heraf, at krav til betonens trykstyrke er opfyldt, idet:

$$\sigma_m - k \cdot s = 47,05 - 1,79 \cdot 3,90 = 40,1 \text{ MPa} > 0,9 \cdot 30 = 27,0 \text{ MPa}$$

Det må derfor konstateres, at det stillede styrkekrav kan regnes opfyldt. Selv om skønnet over trykstyrkens udvikling er usikkert, er der tilstrækkeligt stort gab til, at den pågældende vurdering må regnes for pålidelig.

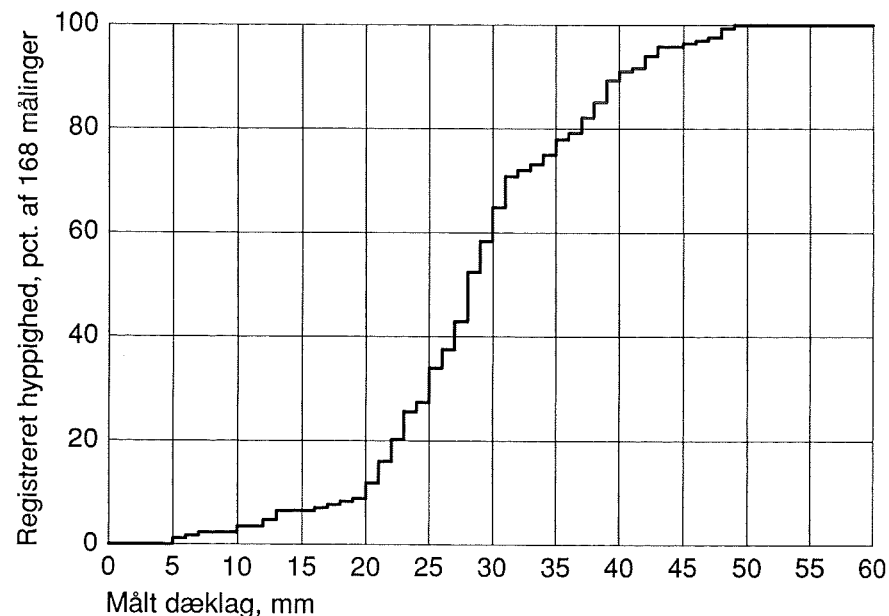
### Armeringens dæklag

Armeringens dæklag er målt med en dæklagsmåler. I figur 25 er sumpolygonen for de målte dæklag vist. Betonnormen DS 411 fra 1973, afsnit 2.2, definerer den (nedre) karakteristiske værdi af en egenskab hos beton 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. Da denne værdi ikke kan fastlægges nøjagtigt ud fra et endeligt antal målinger, kræves det, at sandsynligheden for at acceptere et resultat, som ikke opfylder kravet, ikke må overstige 25 pct.«.

Af figur 25 fremgår det, at over 90 pct. af de målte dæklag er tykkere end de krævede 20 mm. Derfor må det stillede krav til armeringens dæklag anses for opfyldt i altangangselementerne.

Krav til armeringsdæklag i betonnormen DS 411, 2. udgave 1973, er vag i formuleringen. Først med en normtolkning på dette område, offentliggjort i Ingeniøren 3.7.1981 og senere med DS 411, 3. udgave 1984 og DS 423.1, udgave 2, kan måledata vedrørende dæklag gøres til genstand for stringent, numerisk vurdering.



Figur 25. Sumpolygon for de målte dæklagstykkelser i altangangselementernes undersider. Det bemærkes, at over 90 pct. af de målte dæklag er tykkere end de krævede 20 mm, således at det stillede krav om dæklagstykkelse på 20 mm i henhold til betonnormen (1973) kan anses for opfyldt uden nærmere talmæssig vurdering. Kilde: AEC.

### Mikrostrukturel analyse

Analyse af planslib og tyndslib viser, at betonprøver fra uskadte områder af altangangskonstruktionen kun udviser ændringer i form af en overflade-carbonatisering, hvis dybde er forventelig i forhold til de målte  $v/c$ -forhold, betonaldere og miljøets fugtighed. Der er ikke konstateret alkalikiselreaktion eller udludning af nogen betydning for betonens holdbarhed.

### Afskallede betonoverflader i altangangselementer

I betonprøver fra altangangselementers afskallede betonoverflader observeres det i tyndslib, at betonens kitmasse har en revnedannelse, som er typisk for frostskeer på betonoverflader. Undersøgelsesrapporten giver således følgende beskrivelse af revnesystemet:

*»Betonen er kraftigt gennemrevnet. Et tætliggende system af fine og grove revner (revnevidde under 0,2 mm) er i en dybde af ca. 4,5 mm orienteret parallelt med betonoverfladen, hvor den danner basis for begyndende og fortsat afskalning af betonoverfladen.*

*Disse revner er opstået ved frost/tø-påvirkning af betonen«.*

### Springerdannelse i trappeløbselementer

I betonprøver fra trappeløbselementer observeres det i planslib, at betonen har kraftig revnedannelse i og omkring porøse stenpartikler, som er typisk for frostskeer i beton med ikke-frostbestandige stenpartikler. Undersøgelsesrapporten giver således følgende beskrivelse af revnesystemet:

*»Betonen er kraftigt gennemrevnet. Revner optræder som:*

- *Fine revner (revnevidde maks. 0,1 mm) med orientering subparallelt med ydre overflade. Revner optræder fortrinsvis i forbindelse med porøse korn som kalksten og porøs flint i stentilslaget.*
- *Fine revner (revnevidde maks. 0,08 mm) med orientering vinkelret på betonoverfladen i de yderste ca. 10 mm af betonen«.*

Det skal her bemærkes, at revnesystemet afviger væsentligt fra et revnesystem, der er forårsaget af alkalireaktion. Desuden er partikler af kalksten alkaliiaktive.

### Konklusion

Med den foretagne undersøgelse er der kun foretaget en tilbundsående analyse af dæklag, medens betonens øvrige egenskaber og karakteristika er undersøgt ved et lille antal selektivt udtagne prøver.

### Opfyldelse af krav i norm og betonbeskrivelse

På basis af undersøgelsen er det dog muligt at konkludere følgende:

- Der er sandsynligvis ikke anvendt luftindblandet beton til altangangs-, trappeløbs- og rammeelementer.
- Det er sandsynligt, at kravet til  $v/c$ -forhold er opfyldt.
- Det er sandsynligt, at krav til stentilslag er opfyldt for beton til altangangs- og rammeelementer, mens det sandsynligvis ikke er opfyldt i trappeløbselementer.
- Det er sandsynligt, at al beton havde et lavt chloridindhold på udførelses-tidspunktet.
- Det er sandsynligt, at krav til betonens trykstyrke har været opfyldt.
- Krav til betonens dæklag var opfyldt.

### Årsag til betonskeer

På basis af undersøgelsen er det muligt at konkludere følgende:

- Mangel på luftindblanding i kombination med et højt  $v/c$ -forhold er årsag til frostskeer på altangangselementernes opsider.
- På trappeløbselementerne er årsagen til frostskeer forkert stentilslag og manglende luftindblanding i forbindelse med højt  $v/c$ -forhold.
- Armeringens korrosion skyldes chloridindtrængning, forårsaget af anvendelse af chloridholdige glatførebekæmpelsesmidler i forbindelse med en ineffektiv vandafledning og utætte fuger.

### Projekt materialet

I den ovenstående redegørelse er der taget stilling til opfyldelse af de krav, som er stillet i projekt materialet. Dertil kommer naturligvis spørgsmålet, om projekt materialet har været i overensstemmelse med den dengang gældende betonnorm, DS 411, 2. udgave 1973.

### Miljøklassevalg

I projekt materialet er det valgt at placere altankonstruktionen i moderat miljøklasse, medens man i dag ville placere konstruktionen i aggressiv miljøklasse. Aggressiv og moderat miljøklasse blev i betonnormen DS 411, 2. udgave 1973, benævnt henholdsvis »Miljøklasse A« og »Miljøklasse B«. Om disse miljøklasser skriver betonnormen DS 411, 2. udgave 1973, følgende:

*»Miljøklasse A omfatter de mere aggressive påvirkninger: Herunder falder salt- og røgholdig atmosfære, havvand og brakvand. Miljøklasse B omfatter moderate påvirkninger: Herunder falder fugtig, ikke aggressiv, udendørs såvel som indendørs atmosfære samt strømmende eller stillestående ferskvand«.*



Betonnormen og dens vejledning berettiger ikke umiddelbart til at placere en altangangskonstruktion i moderat miljøklasse. Det var imidlertid kutyme i den periode at placere altangange i moderat miljøklasse, måske inspireret af, at der i betonnormens vejledning om valg af miljøklasse for konstruktionsdele, jf. ad 2.3, står følgende vedrørende moderat miljøklasse:

*»I miljøklasse B falder almindeligvis armerede konstruktioner udsat for udendørs klima og indendørs fugtig klima samt konstruktioner udsat for ferskvand, dvs. konstruktioner såsom broer, beholdere, tårne, tribuner; indendørs betonbelægninger; jorddækkede tunneler; vandledninger; og gennemløb, uopvarmede bygninger; udendørs beton i husbygningskonstruktioner (SBI's fremhævelse), indendørs beton i fugtige lokaler; kældervægge, samt fundamenter mv. i almindelig husbygning«.*

Ganske vist placerer betonnormen også »udendørs betonbelægninger« i aggressiv miljøklasse, jf. ad 2.3, men det virker ikke så direkte som eksemplet »udendørs beton i husbygningskonstruktioner«. Vejledningen pointerer også, jf. ad 2.3, at der må tages hensyn til større udsving fra det normale, blandt andet »påvirkning med optøningskemikalier«, ved særlige, forebyggende foranstaltninger.

## Bilag 1. Prøvningsmetoder

Det er kun muligt at konstatere, om stillede krav til betons egenskaber eller karakteristika er blevet opfyldt, hvis der eksisterer prøvningsmetoder, som kan bestemme de pågældende egenskaber eller karakteristika. Der findes enkelte prøvningsmetoder i DS 423 serien, som kan anvendes. Derudover er der udviklet en del TI-B prøvningsmetoder (dvs. metoder relateret til Dansk Teknologisk Institut, Byggeteknisk Institut), som kan finde anvendelse, ligesom der er enkelte udenlandske prøvningsmetoder til rådighed.

De fleste metoder kræver betjening af specialuddannet personale; derfor kan det anbefales at betjene sig af et betonlaboratorium, der er akkrediteret af DANAK til prøvning af beton i betonkonstruktioner med de aktuelle prøvningsmetoder.

### Betons trykstyrke bestemt ved CAPO-test

Denne prøvningsmetode bestemmer trykstyrken ved hjælp af udtræksprøvning i et 25 mm overfladelag, jf. DS 423.31. Bestemmelsen foregår ved at måle den kraft  $F_u$ , som kræves for at trække en i betonen indboret cirkulær ring ud gennem et modhold, anbragt koncentrisk med ringen på betonoverfladen. Metoden baseres på samme princip som udtræksprøvning efter DS 423.31 (LOK-test), dog med den forskel, at en betonkonstruktion med CAPO-test kan prøves et vilkårligt sted, uden at en cirkulær stålplade, som ved LOK-test, på forhånd er indstøbt i betonen. Udstyrets dimensioner fremgår af figur 27.

Under forudsætning af at den maksimale stenstørrelse i betonen højst er 32 mm, og at der ikke er anvendt X-ler som tilslag, kan sammenhængen mellem udtrækskraften  $F_u$  i enheden kN og trykstyrken  $f_c$  i enheden MPa og målt på støbte cylindre efter DS 423.23 udtrykkes som:

$$f_c = \frac{F_u - 1,0}{0,96} \quad \text{for } 2 \leq F_u \leq 25 \text{ kN}$$

$$f_c = \frac{F_u - 5,0}{0,80} \quad \text{for } 25 \leq F_u \leq 60 \text{ kN}$$

#### Prøver, prøveemner og placering

Én prøve, jf. DS 423.1, skal bestå af mindst to enkeltmålinger. Ved en enkeltmåling forstås udtrækskraften for en enkelt CAPO-test insert. Én observation er gennemsnittet af enkeltmålinger i en prøve.

De cirkulære ringe (CAPO-test inserts) skal anbringes i samme vandrette lag med en indbyrdes afstand på mindst 200 mm og højst 300 mm. Afstand til en betonkant skal mindst være 100 mm. De cirkulære ringe skal anbringes således, at der ikke findes armeringsstænger nærmere brudkeglen end én stangdiameter; visse målkrav vedrørende dæklag og stenstørrelse skal også overholdes.

Antallet af prøver vælges i overensstemmelse med DS 423.1, og beslutningsregel for accept skal være som anført i DS 411, pkt. 8.1.1, for prøvning af beton i konstruktionen.

### Måleprincip

Fremgangsmåden og måleprincippet er vist i figur 27.

### Apparatur

Der anvendes følgende apparatur til udtræksprøvning ved CAPO-test:

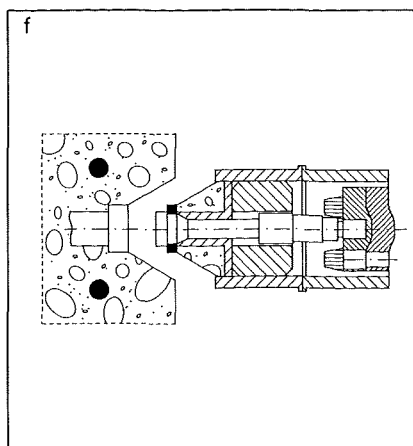
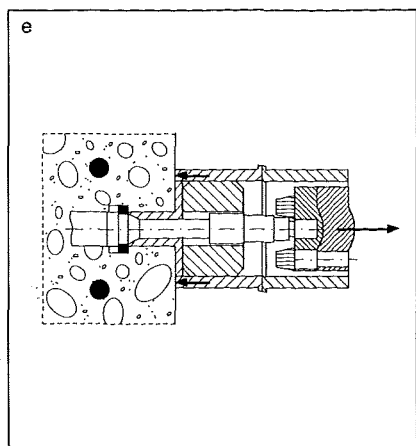
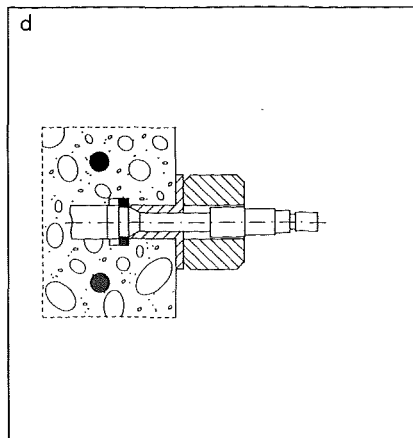
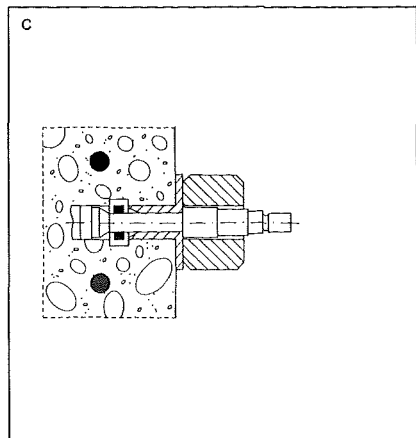
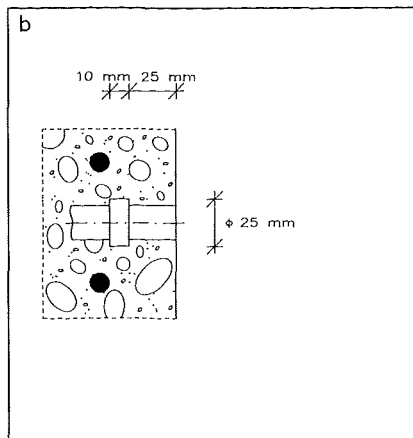
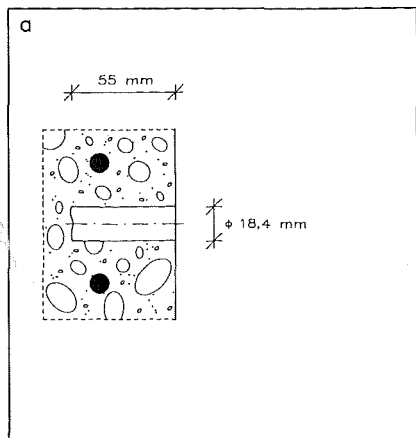
- *Sugeudstyr* med vacuumpumpe og planfræser.
- *Boreudstyr*. Består af et vandkølet Ø 18,4 mm diamantbor, 55 mm langt, placeret i borehus med Ø 100 mm anlægsflade, anbragt vinkelret på boreaksens retning.
- *Fræseudstyr*. Består af en vandkølet Ø 18,0 mm diamantfræser, 10 mm langt, på Ø 11 mm aksel, påsat ligesliber med fræsehus og Ø 93 mm anlægsflade, anbragt vinkelret på fræseaksens retning og med en afstand til diamantfræsere på 25 mm.
- *Ekspandérudstyr*. Består af trækbolt med konus, basistrækbolt, presstykke med glideskive og møtrik.
- *Kobling og modhold*.
- *Hydraulisk trækapparat*. Skal kunne påføre lasten med en nøjagtighed på  $\pm 1$  pct., kontinuerligt og med en hastighed, som svarer til, at der går mindst 15 sekunder fra belastningens start og til brud opnås.

Trækapparatet skal være kalibreret. Kalibreringen skal foretages, hvis instrumentet lider overlast, ved manometerskift, ved serviceeftersyn, for hver 1000 prøvninger eller mindst én gang årligt. Dato for sidste kalibrering skal påstemples apparatet.

Instrumentet skal være fuldt påfyldt olie og skal være uden olielækager.

*Figur 26. Prøvning af trykstyrken af beton i bygværker kan ske ved udtræksprøvning med CAPO-test, der svarer til LOK-test, jf. DS 423.31. I betonoverfladen bores et Ø 18,4 mm hul med recés, hvori en sammenfoldet ring udfoldes. Derefter trækkes denne ring ud af betonen gennem et modhold. Udtrækskraften afhænger af betonens trykstyrke og kan derfor beregnes. Foto: AEC.*





Figur 27a-f.

Figur a. Der bores et  $\text{Ø} 18,4$  mm hul, 55 mm dybt, med vandkølet diamantbor vinkelret på glat og plan betonoverflade. Hvis betonoverfladen ikke er glat og plan, fræses den.

Figur b. Der fræses med vandkølet diamantfræser et  $\text{Ø} 25$  mm recéshul i en dybde af 25 mm fra betonoverfladen, koncentrisk med det borede  $\text{Ø} 18,4$  mm hul.

Figur c. En sammenfoldet ring med diameter  $\text{Ø} 18$  mm, påsat ekspandérværktøj, isættes det borede hul, således at ekspandérværktøjets presstykke har fuld anlægsflade mod betonoverfladen.

Figur d. Den sammenfoldede ring ekspanderes til  $360^\circ$  anlægsflade mod recessen, vendende mod betonoverfladen.

Figur e. Ekspandérudstyret påsættes mod hold og kobling, tilkobles et hydraulisk trækapparat med viserinstrument. Det bringes i fuldstændig kontakt med betonoverfladen og belastes således, at den udfoldede ring trækkes centrisk mod modholdet indtil brud i betonen opstår. Den maksimale kraft registreres.

Figur f. Belastningen med det hydrauliske apparat fortsætter, indtil brudkeglen trækkes helt ud. Kilde: Germann Instruments.

#### Prøvetilberedning

Armeringsstænger i betonen lokaliseres med dæklagsmåler. Prøvningsstedet vælges således, at minimalafstande til kanter og armering samt minimal- og maksimalafstande til andre prøver overholdes.

Betonoverfladen skal være glat og plan. Det konstateres at være tilfældet, ved at observere, at modholdet ikke rækker, når det holdes an mod betonoverfladen på prøvningspositionen. Hvis betonoverfladen ikke opfylder disse krav, fræses betonoverfladen med særligt fræseudstyr.

Betonen må ikke være frossen ved prøvningen.

#### Fremgangsmåde

Sugepladen påsættes betonoverfladen og fladen planfræses. Med boreenheden bores et  $\text{Ø} 18,4$  mm hul, 55 mm dybt og vinkelret på betonoverfladen.

Fræseenhedens aksel med diamantfræser anbringes i det borede hul, og enhedens flange holdes an mod betonoverfladen. Fræsning af det  $\text{Ø} 25$  mm recéshul foretages ved at flangen bevæges i større og større cirkler, indtil flangen følger sugepladens centerhul. Sugepladen afmonteres.

Ekspandérenheden med påsat  $\text{Ø} 18$  mm sammenfoldet ring anbringes i hullet således, at presstykkets anlægsflade ligger fuldt an mod betonoverfladen. Ringen ekspanderes til fuld udfoldning i recéshullet ved med én nøgle at holde basistrækbolten i samme position; med en anden nøgle at bevæge møtrikken med uret  $6\frac{1}{2}$  omdrejning indtil en hård modstand mærkes, og gevindet på basistrækbolten er kommet til syne.

Modhold påsættes og kobling skrues ca. én omdrejning på basistrækbolten.

Det hydrauliske trækapparat aktiveres til prøvning ved at folde teleskophåndtaget fuldt ud og koble det på koblingen. Instrumentet drejes med uret, indtil betonoverflade, modhold og instrument er i fuld gensidig kontakt. Belastningen af instrumentet foregår med en hastighed som specificeret tidligere. Maksimalkraften registreres og belastningen fortsætter indtil brudkeglen trækkes ud. Instrumentet frakobles ekspanderudstyret, koblingen fjernes sammen med modholdet og en ny sammenfoldet ring påsættes ekspanderudstyret som anført i udstyrets instruktionsmanual.

#### *Resultatbehandling*

Den aflæste maksimalkraft i enheden kN korrigeres efter instrumentets kalibreringstabel og omsættes til trykstyrke efter DS 423.23 ved hjælp af omregningsformlerne side 95.

Gennemsnittet af enkeltobservationer inden for en prøve (mindst to stk. CAPO-test inserts) benævnes i den statistiske behandling en observation. Den statistiske behandling af prøvningsresultater (observationer) skal foretages efter DS 411, pkt. 8.1.1.

#### *Kriterier for korrekt gennemført prøvning*

Følgende regler skal overholdes for at sikre en korrekt gennemført prøvning:

- Hvis belastningen under prøvningen til brud må afbrydes, forkastes prøvningen.

*Begrundelse.* Gentagne belastninger vil give for små værdier.

- Forekommer andre brudtegn og afskalninger uden for det cirkulære 55 mm brud, afgrænset ved modholdets inderdiameter efter fuldendt udtrækning af brudkeglen, forkastes prøvningen.

*Begrundelse.* Hvis prøvningsfladen ikke er glat eller trækket ikke er vinkelret på overfladen og centrisk, kan der opstå uregelmæssige brudformer, hvor omregningsformlerne ikke gælder. Hvis der trækkes i instrumentet for at få brudkeglen frigjort, kan afskalninger uden for det 55 mm cirkulære brud, afgrænset ved modholdets inderdiameter forekomme. Brudkeglen kan trækkes ud alene ved hjælp af instrumentets stempelvandring, hvis instrumentet er fuldt påfyldt olie og prøvningen gennemføres som foreskrevet.

- Hvis dybden fra prøvningsfladen til det fræsedes  $\varnothing$  25 mm huls recéskant, vendende mod prøvningsfladen er uden for tolerancen  $25 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ , forkastes prøvningen.

*Begrundelse.* Den ekspanderende ring skal være placeret 25 mm under betonoverfladen for at de anførte omregningsformler er gældende.

- Hvis diameteren af den udfoldede ring efter udtrækning af brudkeglen er uden for tolerancen  $\varnothing 25 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ , forkastes prøvningen.

*Begrundelse.* Den ekspanderende ring skal være fuldt udfoldet før prøvning, for at de anførte omregningsformler gælder. Den udfoldede ring kan knække under udfoldning eller udtrækning. Dette forhold påvirker dog ikke prøvningsresultatets korrekthed.

- Hvis diameteren af det fræsedes  $\varnothing$  25 mm recéshul er uden for tolerancen  $\varnothing 25 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ , forkastes prøvningen.

*Begrundelse.* Det fræsedes recéshul skal have korrekt dimension, for at ringen kan udfolde sig korrekt, således at de anførte omregningsformler kan anvendes.

- Hvis der konstateres fremmedlegemer i brudkeglen efter udtrækning, forkastes prøvningen.

*Begrundelse.* Det er trykstyrken af (uforstyrret) beton, der ønskes målt.

Det hydrauliske trækapparat, der anvendes til udtrækning, skal være kalibreret som anført side 96.

#### *Reparation af brudhuller*

Hullet i betonen kan påføres epoxyklæber og repareres med polymérmødt eller tilsvarende.

### **Carbonatiseringsmåling**

Bestemmelse af områder i en betonoverflade, der er carbonatiseret, jf. side 16, sker in-situ ved måling af alkalitet, idet der sprøjtes en indikatorvæske på en frisk brudflade eller et nyskåret snit i betonen. Som farveindikator anvendes almindeligvis phenolphthalein (1-3 pct. phenolphthalein i 70-95 pct. ethyl alcohol), som er farveløs ved pH-værdi under ca. 9,2 (dvs. i carbonatiseret beton), mens den antager en rødviolet farve i ikke-carbonatiseret beton.

Foretages der en mikrostrukturel analyse ved plan- og tyndslib, kan betonens carbonatisering bestemmes i forbindelse med denne undersøgelse. Mødtens indikatorvæske ved påsprøjtning reagerer på pH-værdien af betonens porevæske (alkalitet), sker bestemmelse af carbonatisering i tyndslib ved direkte observation af forekomsten af calciumcarbonat  $\text{CaCO}_3$ , der er reaktionsproduktet fra omdannelsen af calciumhydroxid  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ved påvirkning af carbondioxid  $\text{CO}_2$  fra omgivelserne.

Bestemmelse af en betonoverflades carbonatiseringsdybde ved indikatorvæske og tyndslibanalyse giver i princippet forskellige værdier, men det er uden praktisk betydning. Den væsentligste forskel mellem de to prøvningsmetoder er detaljeringsgrad og prøvningsudgifter.

#### *Prøveudtagning*

Der er normalt en systematisk variation i en betonoverflades carbonatiseringsdybde. Carbonatiseringsdybden er mindre i områder, der påvirkes af regn

sammenlignet med beskyttede områder, alt andet lige (fx altanoverside versus underside). Det skal der tages hensyn til ved planlægning af prøveudtagningen.

For at bestemme en betonoverflades carboniseringsdybde udbøres betonkerner med ikke for lille diameter, fordelt over den betonflade, hvis carboniseringsdybde skal bestemmes.

En diameter på 50 mm er passende. Er diameteren mindre, kan bestemmelse af carboniseringsdybden sløres af stentilslaget. Man kan dog godt anvende en diameter på 20 mm, hvis hver observation baseres på mindst tre delobservationer af kerner inden for en cirkel på ca. 100 mm. Derimod må det frarådes at bestemme carboniseringsdybde for en betonoverflade i hullet fra en slagboremaskine; borestøv fra ikke-carboniseret beton vil som regel forstyrre observationen.

### *Prøvning*

De udborede kerner aftørres og flækkes, fx med en fladmejsel, således at der fremkommer en frisk brudflade. Phenolphthalein påføres brudfladen inden 30 minutter efter flækningen og ved spray, således at der ikke fremkommer et overskud af phenolphthalein, som kan løbe hen over brudfladen.

Carboniseringsdybden måles med en skydelære. Både den største og mindste carboniseringsdybde samt den gennemsnitlige carboniseringsdybde registreres.

### *Prøvningsmetoder*

Bestemmelse af betonoverfladers carboniseringsdybde findes beskrevet i fx følgende prøvningsmetoder: TI-B 35 og RILEM CPC-18.

## **Chloridindtrængning**

Bestemmelse af betons evne til at modstå indtrængning af chlorid fra omgivelserne kan skønnes ved at udsætte en betonprøve, fx en udboret betonkerne fra konstruktionen, for en veldefineret chloridbelastning i en så lang tid (minimum 1-2 måneder), at chloridindtrængningen kan beskrives ved et chloridprofil i betonoverfladen.

Der er stadig usikkerhed om, hvilke fysiske love der bestemmer chloridindtrængningen, og også om ændringen i de styrende parametre som funktion af betonens sammensætning, alder og miljøbelastning. Derfor kan der kun foretages grove skøn af den fremtidige chloridindtrængning på baggrund af en kortvarig prøvning af chloridindtrængningen.

### *Prøveudtagning*

Prøveemner kan være udboret eller udsavet af beton i konstruktioner eller være udstøbte prøveemner. Prøveemnerne skal være repræsentative for den beton-

overflade, hvis chloridbremsende virkning skal bestemmes. Prøveemnerne skal desuden være fri for synlige fejl og defekter som fx revner og grovporositeter. Der bør indgå mindst tre prøveemner i en prøvning af en betonoverflade.

### *Prøvning*

De udtagne prøver vandmættes og placeres derefter i et bad af chloridholdigt vand. Efter en kendt eksponeringstid affræses tynde lag parallelt med prøvens eksponerede overflade, jf. figur 22. De enkelte lags chloridindhold bestemmes efter opløsning i salpetersyre ved titrering, jf. DS 423.28. Derefter foretages der en bestemmelse af chloridprofillets parametre, dvs. betonens oprindelige chloridindhold  $C_i$  og randbetingelsen mod den eksponerede overflade  $C_s$  (beregnet overfladekoncentration) og chloriddiffusionskoefficienten  $D$ . Disse parametre kan danne grundlag for et groft skøn af betonens evne til at modstå chloridindtrængning, fx ved den parameter  $K_1$ , der betegnes »førsteårsindtrængningen«, og som bestemmer den dybde, hvortil den kritiske chloridkoncentration  $C_{cr}$  beregnes at trænge ind i løbet af ét år under konstant chloridlast som anvendt ved prøvningen.

### *Prøvningsmetode*

Bestemmelse af betons modstand mod chloridindtrængning findes beskrevet i fx følgende prøvningsmetode: APM 302.

## **Chloridindhold i uforstyrret, hærdnet beton**

Betons oprindelige chloridindhold kan bestemmes som det syreopløselige chloridindhold, altså det totale chloridindhold, i uforstyrret beton. Ved uforstyrret beton forstås her, at en betonprøve er udtaget så dybt under betonoverfladen, at man kan se bort fra omgivelsernes forstyrrende indflydelse, fx i form af chloridindtrængning, carbonatisering eller udludning.

Metoden giver ikke oplysning om den form, hvori chloriden befinder sig i betonen (fri eller bunden chlorid). Ønsker man oplysning om mængden af vandopløselige chlorider i betonen, skal der foretages et vandigt udtræk af betonens chlorider, men de grænser, der i basisbetonbeskrivelsen er givet for betonens chloridindhold, svarer til det syreopløselige chloridindhold i betonen.

### *Prøveudtagning*

Ved prøvningen skal betonens initiale chloridindhold bestemmes. Derfor skal analyseprøver som nævnt udtages i uforstyrret beton. Det kan i praksis ske ved, at der fra en udtaget borekerne til andet formål (fx mikrostrukturel analyse) normalt kan benyttes analyseprøver, der har været dybere beliggende end 50-

75 mm under betonoverfladen. Det yderste lag af en betonkonstruktion vil ofte være forstyrret med hensyn til chloridindhold i forhold til det indre af betonen ved, at overfladelaget kan være carboniseret og/eller udvasket. Desuden indeholder overfladelaget op til den tidligere forskalling som regel et større pulverindhold end betonen som gennemsnit, hvilket betyder, at porøsiteten og chloridindholdet normalt også er større end i betonen som gennemsnit.

Det kan anbefales, at borekerner har en diameter på 75-100 mm. I så tilfælde kan borekernen udbores med vandkøling, jf. DS 423.22.

Skal betonens gennemsnitlige chloridindhold bestemmes, skal der ifølge DS 423.28 anvendes et prøvestykke så stort, at det estimerede cementindhold er over 1 kg.

Betonens chloridindhold kan også bestemmes i flere dybder under betonoverfladen, jf. efterfølgende afsnit om chloridprofil. Analyseprøverne, hver med et estimeret cementindhold over 2 g (jf. DS 423.28), kan enten udtages som afsavede skiver af en udtaget borekerne eller udtages direkte som pulverprøver med en slagboremaskine med et mindst 18 mm bor.

Betonens gennemsnitlige chloridindhold i en bestemt dybde bestemmes ofte som gennemsnittet af 4-6 analyseprøver, som udtages inden for et område på omkring  $150 \times 150$  mm.

#### *Prøvning*

Betonprøver skal være findelt til en kornstørrelse under 0,1 mm. Analysen kan ske ved titrering efter DS 423.28 i laboratoriet eller ved måling med en chloridelektrode, fx in-situ ved RCT-metoden (Rapid Chloride Test). Chloridindholdet angives i pct. af betonens masse og omregnes til pct. af massen af betonens pulverindhold, hvor dette er kendt.

#### *Prøvningsmetode*

Bestemmelse af hærdnet betons chloridindhold findes beskrevet i fx følgende prøvningsmetode: DS 423.28.

### **Chloridprofil**

Betonoverflader optager chlorid, hvis de i brug udsættes for chloridpåvirkning (fx fra glatførebekæmpelse med chloridholdige tørsalte). Beskrivelse af chloridindholdet ved en betonoverflade sker ved bestemmelse af dens chloridprofil eller dette chloridprofils diffusivitetparametre.

Ved et chloridprofil forstås grafen af betonens chloridkoncentration afbildet i relation til afstanden fra den eksponerede betonoverflade.

#### *Prøveudtagning og prøvning*

En betonoverflades chloridprofil kan bestemmes på følgende måder:

■ *Måling i laboratoriet.* Udboring af en mindst 75 mm kerne fra betonoverfladen. Er chloridindtrængningen dyb, kan den chloridholdige del af kernen i laboratoriet skæres op i mindst 7 tynde skiver, som nedknuses og analyseres for chloridindhold. Er chloridindtrængningen lille, må der fræses og opsamles pulver fra mindst 7 lag af kernen, fordelt over den chloridholdige del, jf. figur 22. Hver prøve skal mindst bestå af 5 g pulver for at give en tilfredsstillende chloridbestemmelse. Tykkelsen af hver enkelt skive bør dog ikke være mindre end 1 mm. Pulverprøver analyseres for chloridindhold, efter DS 423.28. Skivers og pulverlags dybde under betonoverfladen bestemmes med 0,1 mm's nøjagtighed. Der skal mindst 7 punkter til en tilfredsstillende bestemmelse af et chloridprofil.

■ *In-situ måling.* Udtagning og opsamling af pulverprøver i passende dybder under betonoverfladen. Dybderne skal være bestemt med 0,2 mm's nøjagtighed. Hver prøve skal mindst bestå af 5 g pulver for at give en tilfredsstillende chloridbestemmelse. Pulverprøver analyseres for chloridindhold, enten efter DS 423.28 på et laboratorium eller in-situ ved RCT-metoden. Der skal mindst 7 punkter til en tilfredsstillende bestemmelse af et chloridprofil.

#### *Prøvningsresultat*

Det primære resultat af prøvningen er et optegnet chloridprofil. Kendes betonens alder, kan chloriddiffusiviteten beskrives ved chloriddiffusionskoefficienten  $D$ , betonens beregnede chloridkoncentration i overfladen  $C_s$  og betonens oprindelige chloridindhold  $C_i$  (i uforstyrret beton). Disse parametre beregnes af chloridprofilet ved ikke-lineær regressionsanalyse, eksempelvis ud fra løsningen af Ficks anden lov.

#### *Prøvningsmetoder*

Bestemmelse af en betonoverflades chloridprofil findes beskrevet i fx følgende prøvningsmetode: APM 207.

### **Frostbestandighedsprøvning**

Bestemmelse af en betons frostbestandighed skete tidligere efter DS 423.29. Denne prøvningsmetode er imidlertid trukket tilbage, da det viste sig, at den kunne føre til misvisende vurdering af betons frostbestandighed. Det forventes, at der for vurdering af betons frostbestandighed fremkommer en revideret prøvningsmetode, som bygger på den svenske prøvningsmetode SS 13 72 44 metode IA »Frostprøvning med saltopløsning« og metode IB »Frostprøvning med fersk vand«.

Indtil den reviderede danske prøvningsmetode foreligger, bør man anvende SS 13 72 44, der kort beskrives i det følgende.

### *Prøveudtagning og prøveemner*

For at kunne bestemme frostbestandigheden af beton i en betonoverflade udbores betonkerner med diameter mindst 100 mm fra betonoverfladen, eller der udsaves prismer med grundflade  $150 \pm 5$  mm. Prøveemnernes samlede, oprindelige betonoverflade bør ikke være under  $40.000 \text{ mm}^2$ , og det svarer til 2 stk. 150 mm prismer eller 4 stk. 100 mm kerner. En  $50 \pm 5$  mm tyk skive skæres af det udskårne emne, således at skiven indeholder den oprindelige betonoverflade.

Skiven lagres derefter 7 døgn i klimarum ved temperatur  $20 \pm 2$  °C og fugtighed  $50 \pm 10$  pct. RF. I løbet af denne lagringsperiode forsynes prøveemnet med en  $20 \pm 5$  mm høj gummiliste, der skal danne et ca. 3 mm dybt reservoir for ferskvand eller saltvand, svarende til henholdsvis metode IA og IB. Dernæst isoleres prøveemnet med  $20 \pm 1$  mm tyk polystyren celleplast, således at frostpåvirkningen ved den efterfølgende prøvning alene sker på den oprindelige betonoverflade.

### *Frost/tø-prøvning*

Prøveemnerne udsættes for periodisk temperaturvariation med en periode på 24 timer. Temperaturen i fersk- eller saltvandet på prøveemnets overflade skal under hver 24 timers periode være højere end 0 °C i mindst 7 og højst 9 timer.

Efter 7, 14, 28, 42 og 56 døgn (perioder) foretages der følgende observationer for hvert prøveemne:

- Afskallet materiale fra betonoverfladen opsamles i en skål, idet overfladen pensles og spules med vand fra en sprayflaske. Derefter fyldes prøveemnets reservoir op med ny væske.
- Det afskallede materiale tørres ved  $105 \pm 5$  °C, og massen måles.
- Afskalning pr. arealenhed af prøveemnets eksponerede betonoverflade beregnes.

### *Fortolkning*

Betons frostbestandighed bedømmes efter SS 13 72 44 på følgende måde:

- *Meget god.* Ingen prøveemner har større afskalning end  $0,1 \text{ kg/m}^2$  overflade efter 56 døgns afprøvning.
- *God.* Afskalningen er mindre end  $0,5 \text{ kg/m}^2$  overflade efter 56 døgns afprøvning, samtidig med at afskalningen fra 28 døgn til 56 døgn er øget mindre end 100 pct.
- *Acceptabel.* Afskalningen er mindre end  $1,0 \text{ kg/m}^2$  overflade efter 56 døgns afprøvning, samtidig med at afskalningen fra 28 døgn til 56 døgn er øget mindre end 100 pct.

- *Ikke acceptabel.* Afskalningen opfylder ikke de krav, som er anført for acceptabel frostbestandighed.

### *Prøvningsmetode*

Bestemmelse af betonoverfladers frostbestandighed findes beskrevet i fx følgende prøvningsmetode: SS 13 72 44.

## **Indhold og fordeling af luft i beton**

Bestemmelse af indhold og fordeling af luft i betons kitmasse kan bestemmes på planslib af udborede eller udsavede prøveemner fra konstruktionen.

### *Prøveudtagning*

Borekerner med diameter 100 mm udbores fra konstruktionens betonoverflade. Der fremstilles en plan, slebet overflade, enten vinkelret på eller parallel med konstruktionens overflade, afhængig af formålet med undersøgelsen. Der skal på observationsfladen være tilstrækkelig kitmasse til registrering af luftboblefordelingen. Det betyder, at observationsfladen skal være ca.  $100 \times 100$  mm ved en største stenstørrelse på 32 mm.

Der foretages en imprægnering af observationsfladen, således at luftbobler, pasta og tilslag kan identificeres.

### *Prøvning*

Der foretages en registrering af de aktuelle faser i betonen (luft, pasta og tilslag) langs et passende antal parallelle linier (traverser). Dette kan ske automatisk eller manuelt.

Luftbobilesystemet i betonens kitmasse beskrives ved det totale luftindhold og luftboblernes specifikke overflade. Det kan være formålstjenligt at opdele det totale luftindhold i to grupper, nemlig indholdet af luft, der består af bobler med korder (målt på traverslinier), der er henholdsvis mindre og større end eksempelvis  $350 \mu\text{m}$ .

### *Prøvningsmetode*

Bestemmelse af indhold og fordeling af luft i betons kitmasse er oprindelig en amerikansk udviklet prøvningsmetode, ASTM C 457-71. Den danske metode, TI-B 4, bygger på den schweiziske standard.

## **Mikrostrukturel analyse af hærdnet beton**

Bestemmelse af betons mikrostruktur, sammensætning, defekter og fejl kan ske ved analyse af plan- og tyndslib, fremstillet af udborede kerner fra beton i de aktuelle konstruktioner.

### Prøveudtagning

Af den betonoverflade, som skal undersøges, udbores et antal kerner. Diameteren skal være mindst tre gange største stenstørrelse, dog mindst 75 mm. Kernernes længde skal mindst være 100 mm. Fra et kontrolafsnit skal der udtages og undersøges mindst tre kerner.

Kernerne skal efter udboring, og indtil præparationen finder sted, opbevares i tætsluttende plast ved ca. 20 °C.

### Prøvning

Rekvirenten vil som regel gerne ved undersøgelsen have besvaret et antal spørgsmål om betonens sammensætning, struktur, defekter, tilstand mv. Det gælder såvel betonens overfladelag som betonens indre.

### Prøvningsmetode

Bestemmelse og beskrivelse af betons mikrostruktur fremgår i detaljer fx af: TI-B 5 (87).

## Petrografisk undersøgelse af sand i beton

Mængden af alkalireaktive partikler i sandfraktionen i beton kan bestemmes ved petrografisk analyse af tyndslib af den pågældende beton. I Danmark regnes porøse flintvarieteter at være alkalireaktive. De forskellige flintvarieteter inddeles i følgende grupper:

- *Tæt flint.* Tæt calcedonflint og tæt kalkcalcedonflint.
- *Porøs calcedonholdig flint.* Porøs calcedonflint og porøs kalkcalcedonflint.
- *Porøs opalholdig flint.* Porøs opalflint og porøs kalkopalflint.

Basisbetonbeskrivelsen anfører kriterier for, at risiko for revnedannende alkalireaktion er minimeret. Dette anføres som kombination af sandets indhold af alkalireaktivt materiale og betonens alkaliindhold.

### Prøvning

Normalt bestemmes indholdet af porøs flint i en *sandprøve* på særlige prøveemner fremstillet af fraktioneret sand (0-2 mm og 2-4 mm fraktionen) ved imprægnering med fluorescerende epoxy, jf. TI-B 52. Skal man bestemme indholdet af porøs flint i sandtilslaget i en *betonprøve*, kan det ske på principielt samme måde på tyndslib af betonprøven. Da der ikke kan ske en fraktionering af sandet, skal man sikre sig, at tilstrækkeligt mange sandkorn i fraktionen 2-4 mm bliver observeret og bedømt, således at der opnås en statistisk sikkerhed, som krævet i TI-B 52.

Sandets alkalireaktive indhold bestemmes i volumenprocent, og det foregår ved punkttælling af sandet under mikroskop.

### Prøvningsmetode

Bestemmelse af indholdet af alkalireaktivt materiale i sandtilslag af en betonprøve fremgår fx af: TI-B 52.

## Restekspansion

Bestemmelse af restaktivitet for beton, hvori der er konstateret alkalireaktion, kan vurderes ved måling af udborede betonkerners restekspansion.

### Prøveudtagning

Af den aktuelle konstruktion udbores betonkerner til eksponering i givne miljøer. De udborede kerner diameter skal være tre gange tilslagets største stenstørrelse, dog mindst 75 mm. Kernernes længde skal være så stor, at der kan udtages et helt kernestykke, hvis længde er mindst to gange diameteren, dog kan en længde på 100 mm accepteres. Det pågældende kernestykke må ikke indeholde armeringsstænger.

Efter udboringen skal kerner opbevares i tætsluttende plastpose, indtil præpareringen finder sted. Betons restaktivitet skal bedømmes ved mindst to prøveemner. Hvis de reaktive korn findes i stenfraktionen, kan flere prøveemner være nødvendige.

### Prøvning

De fremstillede kernestykker pålimes målepunkter i hver ende for bestemmelse af tøjningsændring. Afhængig af det aktuelle betonkonstruktionsmiljø kan prøveemnernes ekspansion versus eksponeringstid eksempelvis ske i et af to forskellige eksponeringsmiljøer:

- *Fersk-fugtigt miljø ved 38 °C.* Prøveemnerne eksponeres delvist neddyppet i ferskt vand ved 38 °C, dvs., at der ikke tilføres betonen alkalimetalioner.
- *Saltvandlagret ved 50 °C.* Prøveemnerne eksponeres i en mættet NaCl-opløsning ved 50 °C, dvs., svarende til eksponeringsmiljøet ved den danske mørtelprismememete, TI-B 51, med tilførsel af alkalimetalioner.

Måling af prøveemnernes ekspansionsforløb gennemføres, indtil ekspansionsændringen med tiden er lavere end en fastlagt værdi, eller indtil der er gået en fastlagt tid.

### Prøvningsmetode

Bestemmelse og beskrivelse af betons restaktivitet ved borekerners restekspansion udføres i varierende udgaver af flere prøvningslaboratorier.



## Vandindtrængning

Betons evne til at modstå indtrængning af vand under tryk kan vurderes på to principielt forskellige måder:

- På et lokalt afgrænset område af en betonoverflade sættes vand under tryk i en given periode. Derefter flækkes prøveemnet og vandindtrængningen måles. Indtrængningen er et mål for betonens tæthed over for vandindtrængning. Der findes prøvningsudstyr til laboratoriebrug, jf. fx ISO/DIS 7031. Der er også udviklet særligt prøvningsudstyr til in-situ prøvning, jf. GWT-metoden fra Germann Instruments.
- En kop med vand lukkes tæt med en betonskive af den betonoverflade, hvis modstand mod vandgennemtrængning skal afprøves. Koppen vendes om (derfor betegnelsen »omvendt kop-metoden«) således at betonskiven danner bund i koppen. Koppen anbringes i et ventileret klimarum, og kopens masse versus tiden registreres. Ud fra disse observationer kan transportkoefficienter for vandtransport i betonskiven beregnes, således at betonens modstand mod vandindtrængning kan angives. Omvendt kop-metoden findes beskrevet i Dansk Betonforenings publikation nr. 19 fra 1983.

## Yderligere oplysning om prøvningsmetoder

Prøvningsmetoder kan rekvireres hos Dansk Standard, og nærmere oplysninger kan fås hos:

- DANAK\* ..... Telefon 45 93 11 44  
DTU, bygning 307, DK-2800 Lyngby ..... Telefax 45 93 11 37
- Dansk Standard ..... Telefon 39 77 01 01  
Baunegårdsvej 73, DK-2900 Hellerup ..... Telefax 39 77 02 02
- DTI – Byggeteknisk Institut ..... Telefon 43 50 43 50  
Postboks 141, DK-2630 Tåstrup ..... Telefax 43 50 40 99

\* Dansk Akkreditering (DANAK) blev etableret i 1991 i henhold til lov nr. 394 af 13. juni 1990. DANAK-ordningen viderefører den autorisationsordning, som fra 1973 blev varetaget af Statens Tekniske Prøvenævn (STP).

## Bilag 2. Basisbetonbeskrivelsens betonblanketter

En beton, der fremstilles i overensstemmelse med basisbetonbeskrivelsens krav, kan karakteriseres éntydigt ved udfyldning af basisbetonbeskrivelsens tre betonblanketter (her betegnet »BBB's betonblanket 1, 2 og 3«).

Basisbetonbeskrivelsens betonblanketter er i dette bilag gengivet i en justeret form, som i højere grad giver mulighed for kontrol af basisbetonbeskrivelsens krav. Endvidere fremtræder blanketterne i et layout, som er fælles for alle blanketgengivelser i denne publikation.

### Underskrift

Basisbetonbeskrivelsen stiller krav om, at disse betonblanketter er udfyldt for hver betontype, der anvendes i et byggeri, inden betonarbejdets start. Betonblanketterne skal underskrives af betonproducenten og entreprenøren. Desuden gennemgås de udfyldte betonblanketter stikprøvevis af tilsynet. De gennemgåede betonblanketter signeres.

### Forpligtelse

Underskrifterne forpligter betonproducent og entreprenør til at anvende den specificerede beton. Derfor vil det være tilstrækkeligt at kontrollere betonblanketterne. Hvis de er korrekt udfyldte og betonrecepten i øvrigt viser, at betonen opfylder de stillede krav i basisbetonbeskrivelsen, er betonblanketterne og entreprenørens modtagekontrol (identifikationskontrol) tilstrækkelig dokumentation for, at beton i overensstemmelse med basisbetonbeskrivelsen er blevet anvendt.

### Kravdækkende ordninger

Det skal fremgå af betonblanketterne, om de anvendte delmaterialer til betonen er leveret fra en producent eller af en leverandør, der er undergivet en kontrolordning, certificeringsordning eller varedeklarationsordning, som dækker de stillede krav i basisbetonbeskrivelsen. Hvis det er tilfældet, vil entreprenørens egen kontrol af betonens delmaterialer normalt være indskrænket til en modtagekontrol (identifikationskontrol) af delmaterialerne. Dette fremgår af Byggestyrelsens cirkulære om kvalitetssikring af 12. november 1986, i hvis vejledning der står:

*»Kvalitetssikringen for et produkt må således antages at være i orden, når produktet er undergivet en betryggende kontrol«.*

## Standardbeton

Det skal ligeledes fremgå af betonblanketterne, om den leverede beton er en standardbeton. Hvis det er tilfældet, og denne standardbeton opfylder de stillede krav i basisbetonbeskrivelsen til betonens anvendelse, kan en forprøvning (prøvestøbning) af betonen efter basisbetonbeskrivelsen erstattes af entreprenørens godkendelse af betonblanketterne og forelæggelse for tilsynet.

På BBB's betonblanket 3 skal betonproducentens resultater fra forprøvning af den pågældende beton være indført med henvisning til prøvningsrapporten og datoen for forprøvnings gennemførelse.

## Ikke-standardbeton

Er den leverede beton ikke en standardbeton, skal entreprenøren have udført forprøvning af betonen, som anført i basisbetonbeskrivelsen. På BBB's betonblanket 3 skal resultaterne af denne forprøvning være indført med henvisning til prøvningsrapporten og datoen for forprøvnings gennemførelse.

## Blanket-kontrol

Kontrollen af BBB's betonblanketter er en væsentlig del af et 5-års eftersyn. I det følgende gennemgås og kommenteres basisbetonbeskrivelsens betonblanketter.

## Hovedopdeling af BBB's betonblanket 1

Blanketten er opdelt i fem delskemaer, hver med sit formål, jf. figur 28.

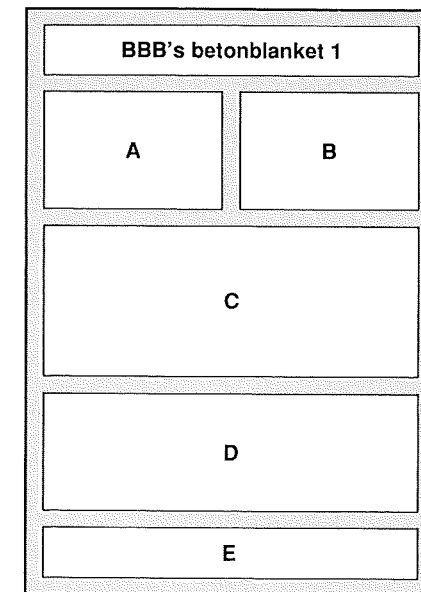
## Rubrikker i BBB's betonblanket 1

En udfyldt BBB betonblanket 1 vil normalt tale for sig selv; der kan dog for den kontrol, som den bygningsagkyndige foretager, være forskellige forhold, som kan kræve nærmere kommentarer. Den følgende gennemgang søger at trække disse særlige forhold frem. Tallene refererer til blanketrubrikkernes numre.

*Rubrik 3. Anvendelse.* Her nævnes de konstruktionsdele, som den pågældende beton skal anvendes til. Der skal være overensstemmelse mellem disse konstruktionsdeles miljømæssige påvirkning i henhold til basisbetonbeskrivelsen og den miljøklasse, som anføres i rubrik 5 Miljøklasse.

Hvis der er tvivl om miljøpåvirkningen, må yderligere oplysninger hentes i projekt materialet (tegninger og betonbeskrivelse). Definition af de forskellige miljøklasser er anført i basisbetonbeskrivelsen side 9.

*Rubrik 6. Styrkeklasse.* Basisbetonbeskrivelsen stiller krav til betonens karakteristiske trykstyrke, afhængig af miljøklassen, jf. skema 4 i basisbetonbeskrivelsen side 22. Desuden stilles der styrkekrav i projekt materialet (se fx generalnoten). Begge krav skal være opfyldt.



Figur 28. Delskemaerne i BBB's betonblanket 1 har følgende formål:  
A identificerer de konstruktionsdele i projektet, hvor den pågældende beton skal anvendes.  
B klassificerer betonen ved dens hovedparametre.  
C beskriver betonen ved delmaterialerne og sammensætningen.  
D omfatter kontrol af, at de stillede krav i basisbetonbeskrivelsen er blevet opfyldt.  
E er reserveret underskrifter, der forpligter betonproducent og entreprenør til at anvende den specificerede beton.

*Rubrik 8. Største sten.* Basisbetonbeskrivelsen forudsætter, at DS 411, udgave 3 fra marts 1984, er gældende. Det betyder blandt andet, at største stenstørrelse for betonens tilslag ikke kan vælges uafhængigt af armeringsintensiteten (mindste afstand mellem armeringsstænger, se DS 411, afsnit 6.4).

At der er valgt en korrekt største stenstørrelse kan have betydning for at betonen omkring armeringen kan komprimeres uden dannelse af stenreder. At der er taget højde for dette forhold kan kun kontrolleres ved at gennemgå armeringstegningerne.

*Rubrik 15-16. Tilsætningsstoffer.* For beton med mikrosilica til moderat miljøklasse skal der anvendes plastificerende tilsætningsstoffer til betonen. Til beton i aggressiv miljøklasse skal der altid anvendes plastificerende tilsætningsstoffer.

*Rubrik 23-34. Kontrolpunkter.* Udfyldelse af delskema D skal dokumentere, at betonen opfylder de stillede krav i skema 3 i basisbetonbeskrivelsen side 21. Disse krav er for oversigtens skyld anført i tabel 4 og omtalt i det følgende.

Tabel 4. Oversigt over krav i basisbetonbeskrivelsen til betonens karakteristika i rubrik 23-34 for beton i moderat, henholdsvis aggressiv miljøklasse. De udeladte numre i tabel 4 svarer til rubrikker med mellemregninger i basisbetonbeskrivelsens betonblanket 1.

Det skal bemærkes, at betonrecepten (rubrik 10-22) anfører de tilstræbte mængder delmaterialer i betonen. Derfor er de værdier, der anføres i rubrik 23-34 også de tilstræbte værdier. For at de tilstræbte værdier kan være acceptable, skal der være taget hensyn til tolerance ved betonfremstillingen. Det betyder fx, at det tilstræbte v/c-forhold skal være mindre end den krævede værdi i tabel 4; der skal kort sagt være plads til den naturlige variation, således at de stillede krav i basisbetonbeskrivelsen med passende rimelighed kan regnes at blive opfyldt i praksis.

I tabellen er følgende forkortelser anvendt: PU = pulver, BE = beton, MØ = mørtel og KM = kitmasse.

Miljøklasse i henhold til basisbetonbeskrivelsen	Kontrolpunkter	Enhed ▶	Moderat		Aggressiv	
			Min.	Maks.	Min.	Maks.
23. Mikrosilica		pct. af PU	–	10	–	10
24. Flyveaske og mikrosilica		pct. af PU	–	35	–	35
27. Ækvivalent v/c-forhold		rent tal	–	0,55	–	0,45
29. Finstof i mørtel		kg/m <sup>3</sup> MØ	–	–	650	–
31. Luftindhold i kitmasse		pct. af KM	15	–	15	–
32. Alkali ved anvendelse af P-sand		kg/m <sup>3</sup> BE	–	1,8	–	–
32. Alkali ved anvendelse af M-sand		kg/m <sup>3</sup> BE	–	3	–	–
32. Alkali ved anvendelse af A-sand		kg/m <sup>3</sup> BE	–	–	–	3
32. Alkali ved anvendelse af S-sand*		kg/m <sup>3</sup> BE	Ej grænser		Ej grænser	
33. Chloridindhold		pct. af PU	–	0,2	–	0,2
34. Blandetid ved fritfaldsblander		s	90	–	90	–
34. Blandetid ved tvangsblander		s	60	–	60	–

\* Sand, der opfylder kravene i fodnote 8 i skema 3, basisbetonbeskrivelsen side 21, benævnes S-sand i nærværende publikation.

**Rubrik 23. Mikrosilica.** Anvendes der mikrosilica i betonen, skal betonens indhold af mikrosilica være beregnet her som pct. af betonens pulверmasse. Betonens pulверmasse er summen af cement (rubrik 10), flyveaske (rubrik 11) og mikrosilica (rubrik 12).

**Rubrik 24. Flyveaske og mikrosilica.** Anvendes flyveaske eller både flyveaske og mikrosilica, skal indholdet af flyveaske og mikrosilica være beregnet her som pct. af betonens pulверmasse. Betonens pulверmasse er summen af cement (rubrik 10), flyveaske (rubrik 11) og mikrosilica (rubrik 12).

**Rubrik 25. Ækvivalent cementindhold.** Ved betonens ækvivalente cementindhold forstås ifølge basisbetonbeskrivelsen betonens indhold af cement, flyveaske og mikrosilica, hver tillagt sin aktivitetsfaktor. Denne aktivitetsfaktor er  $k_{CE} = 1,0$  for cementen og normalt er  $k_{FA} = 0,5$  og  $k_{MS} = 2,0$  for

## BBB's betonblanket 1

Projekt		Klassifikation	Specificeret	Check	Ref.
1	Sag	4 Recept			
		5 Miljøklasse			
		6 Styrkeklasse	MPa		
		7 Kontrolklasse			
		8 Største sten	mm		
		9 Standardbeton			
		9a Konsistens, variation	mm		

Recept		Type/oprindelse/klasse	Densitet	kg/m <sup>3</sup> BE	liter/m <sup>3</sup> BE	Check	Ref.
10	Cement						
11	Flyveaske						
12	Mikrosilica						
13	Vand						
14a	Luft						
14b	Luftindblandende TSS						
15	Plastificerende TSS						
16	Plastificerende TSS						
17	Andet TSS						
18	Sand						
19	Sand						
20	Sten						
21	Sten						
22	Sten						
14c	Luftindhold	pct. af BE	Total Σ	35	36		

Kontrolpunkter	Enhed	Beregning	Mængde	Check	Ref.
23	Mikrosilica	pct. af PU			
24	Flyveaske + mikrosilica	pct. af PU			
25	Ækv. cementindhold	kg/m <sup>3</sup> BE			
26	Effektivt vandindhold	kg/m <sup>3</sup> BE			
27	Ækv. v/c-forhold	–			
28	Mørtelindhold	liter/m <sup>3</sup> BE			
29	Finstof i mørtel	kg/m <sup>3</sup> MØ			
30	Kitmasseindhold	liter/m <sup>3</sup> BE			
31	Luftindhold i kitmasse	pct. af KM			
32	Max. alkaliindhold	kg/m <sup>3</sup> BE			
33	Max. chloridindhold	pct. af PU			
34	Blandetid	s			

Producent	Dato	Entreprenør	Dato	Set af tilsyn	Dato
37		38		39	

henholdsvis flyveaske og mikrosilica, dvs. hvis der ikke foreligger dokumentation for andet. Hvis der foreligger dokumentation (forsøg) herfor, kan der dog anvendes en værdi  $0,5 < k_{FA} \leq 1,0$ .

Hvis der anvendes standardcement (portlandflyveaskecement) er aktivitetsfaktoren for denne cementtype  $k_{PFC} = 1,0$  uden dokumentation.

**Rubrik 26. Effektivt vandindhold.** Betonens effektive vandindhold er summen af den tilsatte vandmængde, dvs. afvejet vand og fugt i tilslaget, svarende til våd, overfladetør tilstand (rubrik 13), og vandindholdet i de tilsatte tilsætningsstoffer (rubrik 15-17).

**Rubrik 27. Ækvivalent v/c-forhold.** Betonens ækvivalente v/c-forhold er forholdet mellem betonens effektive vandindhold (rubrik 26) og betonens ækvivalente cementindhold (rubrik 25).

**Rubrik 28. Mørtelindhold.** Betonens mørtelindhold (efter rumfang) er betonrumfanget (rubrik 36) minus rumfanget af tilslag med korn over 4 mm. Det skal bemærkes her, at sandtilslaget (rubrik 18-19) kan indholde overkorn (korn over 4 mm). Desuden kan stentilslaget (rubrik 20-22) indeholde underkorn (korn under 4 mm). Det vil fremgå af BBB's betonblanket 2, delskema K i figur 29, hvor tilslagets kornkurver skal være anført.

**Rubrik 29. Finstof i mørtel.** Det skal bemærkes, at betons finstofindhold pr. definition i DS 411, vejledningen til stk. 3.1.3.2, er indholdet af pulver (dvs. cement, flyveaske og mikrosilica) og filler (dvs. tilslag med korn under 0,25 mm, jf. DS 423.9). Tilslagets fillerindhold fremgår af BBB's betonblanket 2, delskema K i figur 29. I betonblankettens originalversion er der for »finstof« benyttet betegnelsen »filler«; derfor er der foretaget en justering.

Betonens finstofindhold skal være beregnet som indholdet i betonens mørtelindhold (rubrik 28) og anført i enheden  $\text{kg/m}^3$  mørtel.

**Rubrik 30. Kitmasseindhold.** Betonens kitmasseindhold er betonens rumfang (rubrik 36) minus rumfanget af tilslag (rubrik 18-22).

**Rubrik 31. Luftindhold i kitmasse.** Betonens luftindhold i enheden  $\text{liter/m}^3$  beton fremgår af rubrik 14, og betonens kitmasseindhold i enheden  $\text{liter/m}^3$  beton fremgår af rubrik 30. Betonens kitmasseluft skal være beregnet i pct. af kitmassens rumfang.

**Rubrik 32. Maksimalt alkaliindhold.** Betonens maksimale alkaliindhold skal være beregnet i BBB's betonblanket 2, delskema H i figur 29, og overført til rubrik 32.

Alkaliindholdet skal være anført i enheden  $\text{kg/m}^3$  beton.

**Rubrik 33. Maksimalt chloridindhold.** Betonens maksimale chloridindhold skal være beregnet i BBB's betonblanket 2, delskema I i figur 29, og overført til rubrik 33.

Chloridindholdet i betonen skal være beregnet som pct. af betonens pulvermasse (cement, flyveaske og mikrosilica).

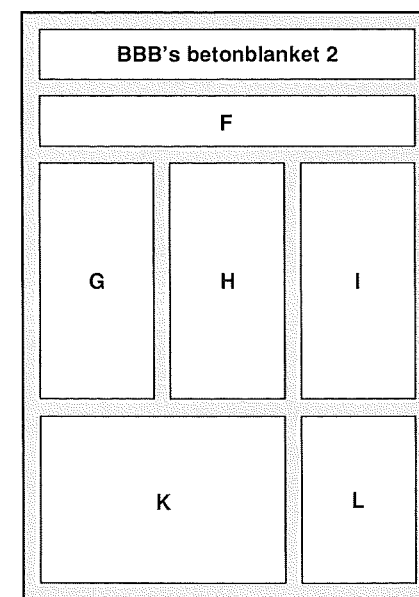
**Rubrik 35. Total  $\Sigma$ .** Summen af betonens delmaterialernes masser for  $1 \text{ m}^3$  beton skal være anført her.

**Rubrik 36. Kubikmeterindhold.** Summen af delmaterialernes rumfang skal være  $1000 \text{ liter/m}^3$  beton.

**Rubrik 37, 38 og 39. Underskrifter.** Betonblanketten skal være underskrevet af betonproducent og entreprenør. Desuden skal der i rubrik 39 være en påtegning, der viser, at tilsynet har set de udfyldte betonblanketter.

## Hovedopdeling af BBB's betonblanket 2

Basisbetonbeskrivelsens betonblanket 2 er opdelt i seks delskemaer, hver med sit formål, jf. figur 29.



Figur 29. Delskemaerne i BBB's betonblanket 2 har følgende formål:

F beskriver, hvad betonens trykstyrkekontrol skal baseres på.

G gentager massesammensætningen for  $1 \text{ m}^3$  beton, jf. betonblanket 1, delskema C i figur 28.

H viser beregning af det maksimale alkaliindhold i  $1 \text{ m}^3$  beton.

I viser beregning af det maksimale chloridindhold i  $1 \text{ m}^3$  beton.

K omhandler tilslagets sammensætning. Øverst er fordelingen gentaget, jf. betonblanket 1, delskema C i figur 28; nederst er de enkelte tilslags kornkurver anført med udregning af kornkurven for det samlede tilslag.

L giver en oversigt over kontroldata eller deklarationsdata for tilslaget; øverst for de anvendte sandmaterialer, nederst for de anvendte stenmaterialer.

## Rubrikker i BBB's betonblanket 2

En udfyldt betonblanket 2 vil normalt tale for sig selv; der kan dog for den kontrol, som den bygningsagkyndige foretager, være forskellige forhold, som kan kræve nærmere kommentarer. Den følgende gennemgang søger at trække disse særlige forhold frem.

BBB's betonblanket 2 har ikke angivelse af rubriknumre. Af praktiske grunde er der i nærværende publikations grafiske version af blanketten tilføjet rubriknumre med det formål at lette henvisningen. I det følgende er der henvist til denne rubriknummerering.

*Rubrik 40. Udokumenteret variationskoefficient.* Hvis betonens trykstyrke skal vurderes med udokumenteret variationskoefficient, skal det være anført her. Værdien af den udokumenterede variationskoefficient, der i så tilfælde er anført her, skal være som givet i tabel 8.1.1a i DS 411.

Kontrol med udokumenteret variationskoefficient vil være det normale for specialbetoner.

*Rubrik 41-42. Dokumenteret variationskoefficient.* Hvis betonens trykstyrke skal vurderes med dokumenteret variationskoefficient, skal det være anført her, jf. DS 411, pkt. 8.1.1.

Den dokumenterede variationskoefficients værdi skal være anført i den respektive rubrik. Kontrol med dokumenteret variationskoefficient vil være det normale for standardbetoner.

*Rubrik 43. Cementens alkaliindhold.* Cementens maksimale alkaliindhold skal være anført her, svarende til cementtypen i henhold til de særlige betingelser for certificering, SBC 227.

*Rubrik 44-45. Alkaliindhold for flyveaske og mikrosilica.* Der kan ses bort fra alkaliindholdet i flyveaske og mikrosilica ved beregning af betonens alkaliindhold, når der samtidig ses bort fra dette pulvers alkalireaktive indhold. Derfor skal der ikke stå værdier anført i rubrik 44 og 45.

*Rubrik 46. Støbevandets alkaliindhold.* Alkaliindhold i vand fra offentligt vandværk er normalt meget lavt, men værdier op til 0,06 pct. kan findes. Oplysninger om alkaliindholdet (ækv.  $\text{Na}_2\text{O}$ ) kan fås fra det pågældende vandværk. Hvis der ikke anvendes støbevand af drikkevandskvalitet, skal der foreligge dokumentation for vandets alkaliindhold.

*Rubrik 47-50. Tilsætningsstofferne alkaliindhold.* Mange tilsætningsstoffer kan indeholde et stort alkaliindhold, især superplastificerende tilsætningsstoffer. Værdier på op til 3,5 pct. kan findes. Der findes dog også alkalifri tilsætningsstoffer.

*Rubrik 51-55. Tilslagets alkaliindhold.* Tilslagets alkaliindhold afhænger af tilslagets oprindelse og bjergartssammensætning. Da basisbetonbeskrivelsen blev udgivet af ATV i 1986, anførte den medfølgende redegørelse anbefalede værdier for den alkalimængde, der kunne regnes frigivet til betonen, jf. tabel

## BBB's betonblanket 2

<b>Trykstyrkens variationskoefficient</b>	Udokumenteret, DS 411 40	Dokumenteret, 40 prøver 41	Dok. 100 prøver 42
---	-----------------------------	-------------------------------	-----------------------

Recept (betonblanket 1)		Alkali (ækv. $\text{Na}_2\text{O}$ )			Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )		
Enhed	kg/m <sup>3</sup> BE	pct. af DM	kg/m <sup>3</sup> BE	Ref.	pct. af DM	kg/m <sup>3</sup> BE	Ref.
10	Cement	43			57		
11	Flyveaske	44			58		
12	Mikrosilica	45			59		
13	Vand	46			60		
14b	Luftindblandende TSS	47			61		
15	Plastificerende TSS	48			62		
16	Plastificerende TSS	49			63		
17	Andet TSS	50			64		
18	Sand	51			65		
19	Sand	52			66		
20	Sten	53			67		
21	Sten	54			68		
22	Sten	55			69		
35	Total $\Sigma$	56	Total $\Sigma$	til 32	70	Total $\Sigma$	

71b	Chloridbidrag fra TSS, pct. af CE + FA + MS	_____ · 100 % =	pct.
71a	Chlorid, pct. af CE + FA + MS	_____ · 100 pct. =	pct.

Sammensætning af tilslag				Sand		
Fordeling af tilslag		kg/m <sup>3</sup> BE	pct. af TS	Ref.	1	2
72	Sand				89	Humus
73	Sand				90	Reakt. korn
74	Sten				91	Ekspansion
75	Sten				92	Kem. svind
76	Sten				93	Densitet
77	Total $\Sigma$				94	Absorption
					95	Chlorid, $\text{Cl}^-$

Kornkurver, gennemfald i pct. efter DS 423.9							Sten			
Sigter	SA1	SA2	ST1	ST2	ST3	Total $\Sigma$	Ref.	1	2	3
78	64 mm							96	Masse-pct.	
									Dens. < 2,5	
79	32 mm							97	Masse-pct.	
									Dens. < 2,4	
80	15 mm							98	Masse-pct.	
									Dens. < 2,2	
81	8 mm							99	Absorption	
									i alt, pct.	
82	4 mm							100	Kritisk andel	
									Dens. > 2,4	
83	2 mm							101	Chlorid, $\text{Cl}^-$	
84	1 mm							102	Densitet	
85	0,5 mm									
86	0,25 mm									
87	0,125 mm									
88	0,075 mm									

Tabel 5. Anbefalede værdier for tilslags alkalifrigivelse, anført i redegørelsen for basisbetonbeskrivelsen, udgivet af ATV i 1986. Alkalifrigivelsen fra tilslag skal være målt, men tabelværdierne kan angive størrelsesordenen. Kilde: ATV.

Oprindelse	Enhed	Stentilslag	Sandtilslag
Sømaterialer .....	pct. af tilslag	0,013	0,024
Bakke-materialer .....	pct. af tilslag	0,003	0,002
Knust klippegranit .....	pct. af tilslag	0,003	0,002

5. Senere undersøgelser har vist, at tilslag af feldspat kan give en markant frigivelse af alkali til beton, jf. STVF Projekt J.nr. 16-4558: »Frigivelse af alkalimetallioner fra feldspat i beton og mørtel«.

*Rubrik 56. Betonens alkaliindhold.* Ud fra betonens indhold af delmaterialer og disse delmaterialers alkaliindhold skal betonens samlede alkaliindhold være beregnet og anført i enheden kg/m<sup>3</sup> beton. Der skal være overensstemmelse mellem betonens alkaliindhold og de valgte sand- og stentyper.

*Rubrik 57-60. Pulverets og vandets chloridindhold.* Chloridindholdet i betonens pulver og støbevand er normalt lavt. Cements chloridindhold er normalt maksimalt 0,1 pct. Flyveaske og mikrosilica må højst have et chloridindhold på 0,1 pct.

Støbevand af kvalitet som drikkevand vil normalt have et chloridindhold under 0,04 pct. Nær kyststrækninger, især med sandet jordbund, kan vandets chloridindhold være større end normalt.

*Rubrik 61-64. Tilsætningsstofferne chloridindhold.* Der må ikke anvendes chloridholdige tilsætningsstoffer til beton efter basisbetonbeskrivelsen. Derfor skal de anførte chloridindhold være lave. Chloridindholdet i tilsætningsstoffer vil fremgå af varedeklarationen.

*Rubrik 65-69. Tilslagets chloridindhold.* Tilslagets chloridindhold afhænger af tilslagets oprindelse. Sømaterialer indeholder mere chlorid end bakke-materialer og knust klippegranit. Da basisbetonbeskrivelsen blev udgivet af ATV i 1986, anførte den medfølgende redegørelse de i hosstående tabel 6 anbefalede værdier for den chloridmængde, som kunne regnes at være i tilslag.

Tabel 6. Chlorid i tilslag. Anbefalede værdier i redegørelse for basisbetonbeskrivelsen, udsendt af ATV i 1986. Chloridindholdet fra tilslag skal være målt, men tabelværdierne kan angive størrelsesordenen. Kilde: ATV.

Oprindelse	Enhed	Stentilslag	Sandtilslag
Sømaterialer .....	pct. af tilslag	0,016	0,029
Bakke-materialer .....	pct. af tilslag	0,003	0,002
Knust klippegranit .....	pct. af tilslag	0,003	0,002

*Rubrik 70. Betonens totale chloridindhold.* Ud fra betonens indhold af delmaterialer og disse delmaterialers chloridindhold skal betonens samlede chloridindhold være beregnet og anført i enheden kg/m<sup>3</sup> beton.

*Rubrik 71a. Betonens chloridindhold som pct. af pulvermassen.* Betonens chloridindhold skal være beregnet i pct. af betonens pulvermasse (dvs. cement, flyveaske og mikrosilica). Betonens pulverindhold må ikke forveksles med betonens ækvivalente cementindhold i rubrik 25 i BBB's betonblanket 1.

*Rubrik 71b. Chloridbidrag fra tilsætningsstoffer.* Foruden at beregne betonens chloridindhold, skal det kontrolleres, at bidraget til betonens chloridindhold fra tilsætningsstofferne alene ikke overstiger 0,02 pct. af betonens pulvermasse, jf. *rubrik 71b*. Dét er der ikke i den originale betonblanket 2 reserveret en rubrik til; derfor er der i nærværende publikations blanketversion foretaget en justering.

*Rubrik 72-76. Sammensætning af tilslag.* Betonens indhold af tilslag er overført fra BBB's betonblanket 1, rubrik 18-22. Den procentiske sammensætning skal være udregnet, idet disse værdier anvendes til bestemmelse af det samlede tilslags kornkurve, jf. rubrik 78-88.

*Rubrik 78-88. Tilslagets kornkurver.* De anvendte tilslags kornkurver skal være anført her. Med den procentiske sammensætning, anført i rubrik 72-76 skal det samlede tilslags kornkurve være beregnet. BBB's betonblanket 2 har ikke som tidligere betonblanketter plads til optegning af det samlede tilslags kornkurve. Derfor bør man bemærke sig det samlede tilslags sandprocent og fillerprocent; de skal være acceptable ud fra en helhedsbetragtning.

*Rubrik 89. Sandets humusreaktion.* Her skal det anvendte sandtilslags kontrol-data vedrørende humusreaktion være anført. Der skal i rubrikken være skrevet »lysere« for accept.

*Rubrik 90-92. Sandets alkalireaktivitet.* Her skal det anvendte sandtilslags kontrol-data vedrørende alkalireaktivitet være anført. For beton i moderat eller aggressiv miljøklasse skal mindst én af rubrikkerne være udfyldt, enten mængden af reaktive korn som vol-pct. af sandet i rubrik 90, mørtelprismekspansionen efter 8 eller 20 ugers eksponering i rubrik 91 eller kemisk svind efter TK 84 i rubrik 92. Der er krav i moderat og aggressiv miljøklasse.

*Rubrik 93-95. Andre sanddata.* Der stilles ikke krav til de anførte værdier i disse rubrikker, men der skal være overensstemmelse med anvendelserne i betonblanketterne.

*Rubrik 96-98. Stenenes korndensitet.* Her skal det anvendte stentilslags kontrol-data vedrørende korndensitet være anført. For beton i moderat eller aggressiv miljøklasse skal mindst én af rubrikkerne være udfyldt.

*Rubrik 99. Stenenes absorption.* Der stilles ikke krav til de anførte værdier i denne rubrik, men der skal være overensstemmelse med anvendelserne i betonblanketterne.

Rubrik 100. Kritisk absorption. De anvendte stenmaterialers karakteristika vedrørende skorper af porøs flint på tæt flint skal være anført her. Der stilles krav til disse karakteristika for stenmaterialer til beton i moderat og aggressiv miljøklasse.

Rubrik 101-102. Andre stendata. Der stilles ikke krav til de anførte værdier i denne rubrik, men der skal være overensstemmelse med anvendelserne i betonblanketterne.

### Hovedopdeling af BBB's betonblanket 3

Basisbetonbeskrivelsens betonblanket 3 er opdelt i ni delskemaer, hver med sit formål, jf. figur 30.

BBB's betonblanket 3
1
2
3
4
5
6
7
8
9

Figur 30. Delskemaerne i BBB's betonblanket 3 har følgende formål:

1 giver resultaterne fra den mikrostrukturelle analyse i forbindelse med den sidste forprøvning af betonen (prøvestøbning). Hovedresultater skal være anført sammen med reference til prøvningsrapport og dato for prøvestøbningen.

2 giver resultaterne fra luftbobleanalysen, udført i forbindelse med den sidste forprøvning af betonen (prøvestøbning). Hovedresultater skal være anført sammen med reference til prøvningsrapport og dato for prøvestøbningen.

3-6 omhandler karakteristika for den friske beton. Disse delskemaer skal ikke nødvendigvis være udfyldte; det afhænger af, om der i projektet er stillet krav om, at de pågældende egenskaber og karakteristika samt deres variation med betonens modenhed er kendt for den friske beton før betonarbejdets start.

7-8 omhandler karakteristika for den hærdnende beton. Disse delskemaer skal ikke nødvendigvis være udfyldte; det afhænger af, om der i projektet er stillet krav om, at de pågældende egenskaber og karakteristika samt deres variation for den hærdnende beton er kendt før betonarbejdet påbegyndes.

9 skal anføre bemærkninger til resultaterne i delskemaer 1-8, fx dato for prøvestøbningen.

## BBB's betonblanket 3

Produktionsegenskaber	$f_{ck}$ , MPa	Pulvertyper	$d_{max}$	Miljøklasse	Ref.	
1	Strukturanalyse				Ref.	
Prøvningsmetode:						
2	Luftboblestruktur		Karakteristika	Levering	2-spredning	Ref.
Prøvningsmetode:						
Total luft i beton		vol-pct. af BE				
Total luft i kitmasse		vol-pct. af KM				
Specifik overflade af totalluft		mm <sup>-1</sup>				
Afstandsfaktor for totalluft		mm				
3	Konsistensændring	Alder, M-timer	Transportmetode	Sætmål, mm	Ændring, mm	Ref.
Prøvningsmetode:						
4	Luft i frisk beton	Alder, M-timer	Transportmetode	Luft i beton, pct.	Ændring, pct-enh.	Ref.
Prøvningsmetode:						
5	Bleeding	Vandseparation, mm eller visuelt			Ændring, mm	Ref.
Prøvningsmetode:						
6	Pumpbarhed	Visuel vurdering				Ref.
7	Trykstyrkeudvikling	Modenhed, M-dg	$f_{cm}$ , MPa	$f_{ck}$ , MPa	2-spredning, MPa	Ref.
Prøvningsmetode:						
8	Varmeudvikling for beton	Karakteristika	Enhed	Middel	2-spredning	Ref.
Prøvningsmetode:						
$Q_{ce}$			kJ/kg pulver			
$\tau_e$			M-timer			
$\alpha$			—			
9	Andet/bemærkninger					
Betonproducent	Dato	Entreprenør	Dato	Set af tilsyn	Dato	

## Bilag 3. Dansk Betonforenings kontroljournal-blanketter

DBF Kontroljournaler 1988 er et blanketsystem, der er udformet med henblik på betonentreprenørens kontrol af almindeligt forekommende betonarbejde på arbejdspladsen. De otte kontroljournal-blanketter fremtræder i dette bilag i et layout, som er fælles for alle blanketgengivelser i denne publikation. Der henvises til den af Dansk Betonforening i 1988 udgivne vejledning i brugen af betonblanketterne. Blanketterne kan købes hos udgiveren: Dansk Betonforening, c/o DIF, Vester Farimagsgade 29, 1780 København V.

Kontrol af basisbetonbeskrivelsens betonblanketter 1, 2 og 3 må suppleres med vurdering af betonarbejdets udførelse, specielt betonens efterbehandling. For betonens beskyttelse i hærdeperioden (efterbehandlingen) stilles der krav i basisbetonbeskrivelsens skemaer 8, 9 og 10, side 34-35.

Det aktuelle byggeris kontroljournal skal indeholde data om disse forhold. Ofte vil Dansk Betonforenings kontroljournal-blanketter (1988) være anvendt til formålet. Dette blanketsystem omfatter følgende:

- *Hovedblanket UB.* Udførelseskontrol af betonarbejder.
- *Bilagsblanket MB.* Modtagekontrol af beton.
- *Hovedblanket MA.* Modtagekontrol af armering.
- *Bilagsblanket KS.* Klargøring til støbning.
- *Bilagsblanket TM.* Temperaturmåling.
- *Bilagsblanket MO.* Beregning af modenhed.
- *Hovedblanket ME.* Modtagekontrol af betonelementer.
- *Hovedblanket UF.* Udførelseskontrol af fugestøbning.





## Dansk Betonforenings Kontroljournal

**Modtagekontrol af armering**

**Hovedblanket MA**

Opgave navn:	Opgave nr.:
Stålleverandør:	Stålværk:

Dato	Følgeseddel nr.	Kvalitet	Mærkning	Diameter mm	Mængde tons	DS certificeret		Kontrolleret		Anmærkninger
						Ja	Nej	Dato	Signeret	

Entreprenør	Dato	Set af tilsyn	Dato
-------------	------	---------------	------

## Dansk Betonforenings Kontroljournal

**Klargøring støbning**

**Bilagsblanket KS**

Opgave navn:	Opgave nr.:
Kontrolafsnit/Støbeaufsnit:	

Skitse

Hovedkontrol	Kontrolpunkt	Tegning nr.	Entr.	Tilsyn	Anmærkninger
--------------	--------------	-------------	-------	--------	--------------

**Form**

Støbeform	Materiale				
	Befæstelse				
	Understøtning				
	Placering				
Geometri					
Udstyr	Indstøbninger				
	Udsparinger				
	Støbeskel				
	Fugebånd				
Forberedelse	Rengøring				
	Formolie				

**Slap armering**

Primær armering	Materiale				
	Dimension				
	Antal				
	Bukning				
Sekundær armering	Materiale				
	Dimension				
	Antal				
	Bukning				
Indbygning	Sammenbinding				
	Understøbning				
	Placering				
	Dæklag				
	Renhed				

Entreprenør	Dato	Set af tilsyn	Dato
-------------	------	---------------	------

### Dansk Betonforenings Kontroljournal

**Temperaturmåling**

Bilagsblanket TM

Opgave navn:	Opgave nr.:
Kontrolafsnit/Støbeafsnit:	

Skitse

Temperaturkrav:	Instrument type:
-----------------	------------------

Dato	Klokke	Pkt. nr.	Pkt. nr.	Pkt. nr.	Pkt. nr.	Pkt. nr.	Pkt. nr.	Pkt. nr.	Max diff.	Anmærkninger

Entreprerør	Set af tilsyn	Dato
-------------	---------------	------

### Dansk Betonforenings Kontroljournal

**Beregning af modenhed**

Bilagsblanket MO

Opgave navn:	Opgave nr.:
Kontrolafsnit/Støbeafsnit:	

Alder, h	Temp. °C	Middeltemp. °C	Hastighed, H	Tilvækst alder, Δh	Tilvækst ΔM-h	M-h	Anmærkninger

Bemærkninger:

Entreprerør	Set af tilsyn	Dato	Dato
-------------	---------------	------	------

# Dansk Betonforenings Kontroljournal

## Modtagekontrol betonelementer

Hovedblanket ME

Opgave navn:	Opgave nr.:
Kontrolafsnit:	

Betonelementtype:	Betonelementleverandør:
Elementlæs nr.:	Mærkning:

### Visuel kontrol på arbejdsplads

Karakteristika	Godkendt		Dato	Signeret	Anmærkninger
	Ja	Nej			
Revner					
Udsparinger					
Overflader					
Løftestropper					
Indstøbninger					
Transportkader					

Bemærkninger
--------------

Entreprenør	Dato	Set af tilsyn	Dato
-------------	------	---------------	------

# Dansk Betonforenings Kontroljournal

## Udførelseskontrol af fugestøbning

Hovedblanket UF

Opgave navn:	Opgave nr.:
Kontrolafsnit/Støbeafsnit:	

### Kontrol af støbeklare fuger

Aktivitet	Dato	Signeret	Anmærkninger
Armering			
Klargøring			

### Modtagekontrol af fabriksbeton/mørtel

Leverandør:	Fabrik:							
Beton/mørteltype:	Recept nr.:	Standardbeton:						
Dato	Følge-seddel nr.	Signeret	Mængde m <sup>3</sup>	Blandet kl.	Ankomst kl.	Udstøbt kl.	Lokalitet	Anmærkninger

### Kontrol af pladsblandet beton/mørtel

Dato	Signeret	Lokalitet	Anmærkninger

### Kontrol af understøbning

Dato	Signeret	Lokalitet	Anmærkninger

### Kontrol af fugestøbning

Dato	Signeret	Lokalitet	Anmærkninger

Bemærkninger
--------------

Entreprenør	Dato	Set af tilsyn	Dato
-------------	------	---------------	------

# Bilag 4. Dokumentationsoversigt

Dokumentationsoversigten på næste side er en checkliste for dokumentation af de krav, der normalt stilles i projektmaterialet og i BBB.

I oversigten anføres kravene samt dokumentation for deres opfyldelse.

Dokumentationsoversigt						
Projekt, sag		Dokumentationen eksisterer i form af				Dato
Betonidentifikation		Forprøvning		Kontrolprøvning		Initial
Anvendelse		Forprøvning		Kontrolprøvning		Check
Identifikation af	Krav i projektmateriale	Betonblanketter	Deklarationer	Kontroljournaler	Prøvningsrapporter	Kommentarer til dokumentationen
<b>Delmaterialer</b>						
Cementtype?						
Cement, certificeret efter SBC 227?						
Stenklasse?						
Største stenstørrelse? mm						
Sten med deklARATION?						
Sandklasse?						
Største partikelstørrelse? mm						
Sand med deklARATION?						
Flyveaske anvendes?						
Flyveaske med deklARATION?						
Mikrosilica anvendes?						
Mikrosilica som slurry?						
Mikrosilica med deklARATION?						
Blandevand fra værk?						
Blandevand fra egen boring?						
L-TSS anvendes?						
L-TSS med deklARATION?						
P-TSS anvendes?						
P-TSS med deklARATION?						
Andre TSS anvendes?						
Andre TSS med deklARATION?						
<b>Sammensætning/Indhold</b>						
Ækv. v/c-forhold, faktorer 2,0 og 0,5						
MS, pct. af PU						
FA, pct. af PU						
MS + FA, pct. af PU						
Finstof, kg/m <sup>3</sup> MØ						
Luft, vol-pct. af KM						
Chlorid, pct. af PU						
Chlorid fra TSS, pct. af PU						
Alkali, kg/m <sup>3</sup> BE						
<b>Egenskaber/karakteristika</b>						
Karakteristisk trykstyrke (28 M-dg), MPa						
Luftindhold, vol-pct. af KM						
Luftens specifikke overflade, mm <sup>-1</sup>						
Mikrostruktur						
• inhomogeniteter						
• ujævn tilslagsfordeling						
• kraftig bleeding						
• mange pastarevner						
• mange vedhæftningsrevner						
• mange luftansamlinger						

# Summary

## *Concrete 7:*

### *Documentation and inspection of concrete in building structures*

in connection with 5-year inspection, normal survey and evaluation reports, and pre-repair examination.

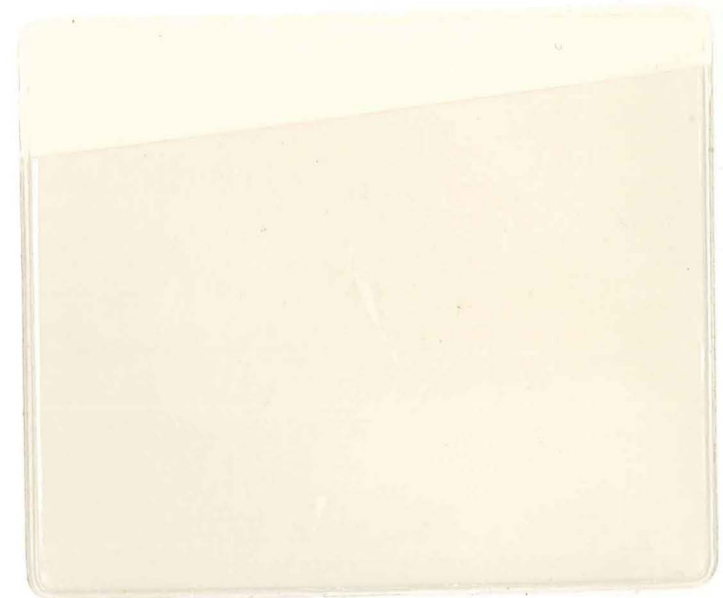
This publication is based on the rules in the »Basic Concrete Specification for Building Structures«, published by the Danish National Building Agency. The publication is addressed to:

- Consultants and supervisors of 5-year inspections;
- Surveyors and valuers charged with the task of determining to which extent specified requirements are met; and
- Inspection firms investigating the causes and extent of damage prior to repair works.

The necessary documentation is described and reference is made to relevant test methods for further investigations. Eleven test methods are described.

As an example a typical concrete investigation is presented including description, general problems, scope of testing, extraction of specimens, measurements, evaluation, and conclusion.

The publication includes examples of relevant concrete forms.



Denne publikation henvender sig til:

- Rådgivere og ledere vedrørende 5-års eftersyn.
- Syns- og skøns mænd, der har til opgave at undersøge, om stillede krav til et betonbyggeri med rimelig sandsynlighed kan betragtes som opfyldt.
- Eftersynsfirmaer, som skal klarlægge årsager til og omfang af betonskader på betonkonstruktioner, inden reparation projekteres og udføres.

I publikationen beskrives planlægning af undersøgelser, og der anføres prøvningsmetoder, som kan bruges ved den praktiske undersøgelse.

