

Dansk Betonforening



Dansk Betondag 1998

Publikation nr.

47

Dansk Betonforening



Dansk Betondag 1998

Publikation nr.

47

Publikation nr. 47:98

Denne publikation indeholder nogle af indlæggene fra

Dansk Betondag 1998

afholdt den 3. september 1998
på Mogenstrup Kro v/Næstved

Publikationen er udgivet af:
Dansk Betonforening
c/o Ingeniørforeningen i Danmark
Kalvebod Brygge 31-33
1780 København V
Tlf.: 33 18 48 48 - Fax 33 18 48 87

Indhold:

Side

Hanne Henriksen:

Hvor har Storebælts- og Øresundsprojekterne
lært os noget og tilført os ny teknologi ? 5

Christian Munch-Petersen:

Hvor har Storebælts- og Øresundsprojekterne
lært os noget og tilført os ny teknologi ? 25

Jesper Sand Damtoft:

Renere teknologi i cementproduktionen
forbedrer miljøprofilen for beton 39

Jørgen Norup:

Grå beton og socialproblemer
er det befolkningens opfattelse ? 49

Øresund Tunnel Contractors I/S
Amager Strandvej 60-64
2300 København S

Hvor har Storebælts- og
Øresundsprojekterne lært os noget og
tilført en ny teknologi ? - Set fra en
entreprenørs synspunkt.

af Hanne Vinter Henriksen

Hvor har Storebælts- og Øresundsprojekterne lært os noget og tilført en ny teknologi ? - Set fra en entrepreneurs synspunkt.

Har vi lært noget ? - Det tror jeg at alle, som har arbejdet på de mange projekter, som Storebælt og Øresund består af vil sige ja til. Det følgende begrænser sig til : Øresund Tunnel Contractors, ØTC fra Øresund Tunnelen, Great Belt Contractors, GBC fra Storebælt Østbro underbygning, og i mindre udstrækning European Storebælt Group, ESG fra Storebælt Vestbro. Det er disse projekter mine erfaringer stammer fra, da jeg var laboratorie ingeniør hos ESG, Leder af betonlaboratoriet på GBC og er Leder af ØTC's betonlaboratorie.

Det eneste, som er interessant, er det færdige resultat !

Det færdige resultat afhænger af, hvordan man er nået frem til det. Det følgende tager derfor udgangspunkt i prøvning af den færdigstøbte beton, og også nogle eksempler fra vejen dertil.

Prøvning af den færdigstøbte beton

Storebælt og Øresund er nogle af de første projekter, hvor man i stor udstrækning har undersøgt betonen på borekerner fra de færdige konstruktioner. Petrografisk analyse TI-B 5, Luftpore analyse TI-B 4 og Frostprøvning SS 13 72 44. Samt forskellige andre testmetoder i forbindelse med særlige undersøgelser. Det er blevet til adskillige 1000 borekerner, og næsten lige så mange spørgsmål. Nogle af de vigtigste :

"Hvorfor ser resultaterne ud som de gør ?" "Hvilken relevans har det vi ser ?", "Er det godt nok ?" "Hvad kan vi forvente ?" "Har testmetoden overhovedet nogen sammenhæng med holdbarheden i virkeligheden ?" "Hvilken konsekvens skal det have ?"

Vores sammenligningsgrundlag var alt for dårligt, det er det for øvrigt stadig !

Hvis materialer og betonsammensætning er i orden, så er det ikke noget problem at få "pæne" resultater på en støbt cylinder eller borekerner fra en 1 m³ klods. Men skridtet fra Laboratoriet og ud i virkeligheden er stort !

Borekerner

Borekerner fra de færdige konstruktioner, det lyder måske let nok - det er det ikke ! Strøm og vand til boregrejet, stillads, lift, hængende i en krankurv, måske endda fra en flådekran og hvad deraf følger... En standarddel af udstyret er metervis af kabel og vandslange samt en tønne til de gange, hvor der ikke er vand nogen steder.

Det er bedst at bore relativt hurtigt efter støbning af flere grunde, bl. a. hvis der er noget galt, kan vi hurtigere få gjort noget ved det. Men på Storebælt's A-Beton skulle formen blive siddende 240 modenestimer - det kan blive til mange dage om vinteren, og der går ikke mange dage mellem at formen bliver fjernet og til stilladset er væk, så det gælder om at være hurtig.

I nogle tilfælde er kravene stillet op på den måde, at først borer man eks. 1 kerne, og hvis resultatet ikke overholder kravet, så skal der bores 3 nye. Derfor kan det på de vanskelige steder blive nødvendigt at bore alle kernerne med det samme og så gemme nogen, som forhåbentlig kan smides væk, fordi det kan være meget besværligt at komme til at bore senere.

Næste problem, armeringsjern, forspænding, kølerør og alle de andre ting, som er gemt i betonen og som der helst ikke, eller absolut ikke, skal bores i. Armeringsjern tager tid at bore igennem og koster diamanter, et område med stødjern er ikke godt. Det nytter heller ikke noget, når borekernen falder fra hinanden, fordi der er mest jern og ikke beton nok til at foretage prøvning på. Og et covermeter giver kun nogenlunde pålidelige oplysninger om det yderste lag armering. Kølerør for hver 30 cm, af plastik, kan være svære at undgå, når der skal være plads til en $\varnothing 100$ mm eller $\varnothing 150$ mm kerne imellem, hvis de ikke sidder præcis som på tegningen. Hvis kølerørene er injicerede er det ikke noget problem, men det er de jo ikke altid.

Så er der den tekniske side af sagen. Det er naturligvis lettest, hvis man kan bore i "nå højde" på en væg, men det kan ikke komme som en overraskelse, at der er større sandsynlighed for at få et godt, d.v.s. højt, luft indhold, hvis kernen bliver boret så højt oppe på væggen som muligt. Groft sagt, det sted, hvor man placerer sin borekerne, har betydning for de resultater, som man får. En herlig konflikt mellem bekvemmelighed, teknisk fairness og et ønske om at undgå så mange problemer og diskussioner med bygherren som muligt p.g.a. resultater, som ikke overholder kravene. Der er ofte stor

forskel på resultater fra borekerner boret med bare 20 centimeters afstand.

Og var der nogen som nævnte ordet reparation af hullerne ?

Petrografisk analyse

Kravene i Storebælts specifikationen til Petrografi var meget specifikke og detaljerede :

Emne	Krav	Enhed
Indre revner		
- Grove revner	0	stk.
- Fine revner	0	stk.
- Pasta revner	$\leq 1,00$	stk./mm ²
- Vedhæftnings revner og defekter	$\leq 1,00$	stk./mm ²
Revner i overfladen		
- Vinkelret på overfladen	$\leq 4,0$	stk./30 mm
- Parallelt med overfladen	$\leq 2,0$	stk./30 mm
Overflade karbonatisering		
- Gennemsnitlig karbonatiseringsdybde	$\leq 0,5$	mm
Fordeling af groft tilslag		
- Ensartet fordeling	$\leq 1,0$	karakter
Uensartheder i pastaen		
- Fordeling af Cement	$\leq 1,0$	karakter
- Fordeling af Micro Silica	$\leq 1,0$	karakter
- Fordeling af Flyveaske	$\leq 1,0$	karakter
- Pastahomogenitet (variationer i kapillar porøsitet)	$\leq 1,0$	karakter

Kravene er baseret på et gennemsnit af 3 kerner. En karakter på 2 må aldrig forekomme.

På både ESG og GBC viste det sig relativt hurtigt, at det var urealistisk at opfylde disse krav - og man hugger nu en gang ikke en konstruktion op fordi der er 1 eller 2 overfladeparallele micro revne "for meget". Efter flere undersøgelser og mange diskussioner med bygherren fik begge entreprenører accepteret, at kravene til petrografi blev ændret

til noget i retning af : Resultaterne skal se ud, som de plejer, men stenene skal være jævnt fordelt. Separation var man enige om, at det ville man ikke have. Tilbage til sammenligningsgrundlaget - hvordan definerer man "plejer" ?

På Øresund er kravene til petrografi ændret til : "Resultaterne af Petrografisk analyse, excl. luft, er kun til information, med mindre resultaterne generelt afviger signifikant fra resultaterne fra de accepterede prøvestøbninger. Hvis resultaterne er signifikant forskellige, skal entreprenøren gennemgå alle metoder og procedurer for blanding, transport, placering, vibrering og curing. Entreprenøren skal rapportere resultatet og introducere de nødvendige ændringer." De som skriver specifikationer havde tilsyneladende lært noget ! Desuden er det bygherren, som bestemmer, hvor der skal bores. Test frekvens 6 kerner for hver 5000 m³ beton, det bliver til næsten 1000 petrografikerner bare på Øresund Tunnelen.

Kan vi så overhovedet bruge alle de test resultater til noget ? Ud over, at det da er meget rart at vide, at tingene ser ud som de plejer.

Den del af den Petrografiske analyse, som jeg synes vi har haft størst gavn af som værktøj, er de epoxy imprægnerede planslib. Dem har vi brugt i mange forskellige sammenhænge, dels til undersøgelser af nogle specifikke emner og dels som en del af opklaringsarbejdet omkring, hvorfor en bestemt skadetype er opstået. Et par eksempler :

På GBC kom følgende spørgsmål : Sidder afstandsklodserne og rasler ude på pilleskafterne ? Det var mest bygherren, som stillede det spørgsmål - det var nemlig ikke dækket af specifikationen. Og GBC borede, og blev betalt for, et antal kerner i afstandsklodser fra konstruktionerne, for at undersøge vedhæftningen mellem beton og afstandsklodser.

Fig. 1. viser et eksempel på et planslib med en afstandsklods. Eksemplet er taget fra en prøvestøbning på ØTC, det er en 1 m³ klods, og formålet med prøvestøbningen var netop at undersøge vedhæftningen mellem beton og afstandsklodser. Prøvestøbningen er udført så omhyggeligt som muligt. Resultatet af prøvestøbningen ligner det, som oftest ses i virkeligheden. På undersiden af afstandsklodsen er der et slip, som en mikro eller fin revne. Resultaterne på GBC så ud på nogenlunde samme måde som i eksemplet. Façon, overflade, tørre eller våde afstandsklodser gør tilsyneladende heller ikke den store forskel .

På ØTC havde vi på et tidspunkt en bundplade, hvor der var revner i overfladen. Revnerne var typisk en halv meter lange og relativt brede. Der blev boret kerner i nogle af disse revner, og på selve kernerne kunne vi se, at revnen kun gik ned til det øverste lag armering. Vi mente at revnerne var udtørningsrevner p.g.a. for sen curing af overfladen. Det var de folk, som havde støbt bundpladen meget uenige i, for de havde været omhyggelige med både curing compound og afdækning. Andre muligheder blev overvejet, og der blev lavet planslib på nogle af kernerne. Fig. 2. viser den bedste af disse. Den virkelige årsag til revnerne var en slags geoteknisk skred, fordi man under udstøbningen havde placeret sine støbefronter, så man støbte en lille smule "ned af bakke". Det kan man ret tydeligt fornemme, når man ser på planslibet. Støbemetoden blev ændret, revnerne injiceret med epoxy, og bliver senere dækket af et lag ballastbeton.

Planslib har været anvendt til mange andre formål, f.eks. støbeskel, kontrol af epoxy injicerede revner, vedhæftning mellem en reparation og betonen. Det er også let at se om det, der set udefra, ligner en stenrede eller et koldt støbeskel også er det. Ofte når vi har boret steder, hvor det har lignet, så er det et overflade fænomen, som kun går ganske få mm ind i betonen.

En fuld petrografisk analyse har en entreprenør størst glæde af i forbindelse med ændringer i materialer, produktions- eller udstøbningsmetoder. For eksempel kan brug af forudgående forbedrede de petrografiske resultater markant, det var resultatet af en undersøgelse, som GBC foretog for Storebælt.

Luftpore analyse og Frostprøvning

På Storebælt bestod prøvningen af den udstøbte beton af petrografi og luftporestruktur. På Øresund er frostprøvning kommet til. Ret tidligt i projektet på ØTC sad vi nogle stykker og diskuterede hvordan vi praktisk skulle arrangere vores planlægning af borekerner. Det var noget af et puslespil, for specifikationen, sammen med nogle ændringer, som var kommet ind under kontraktforhandlingerne, foreskrev tre forskellige prøvningsfrekvenser.

Petrografi : 6 kerner per 5000 m³

Luftpore analyse : 1 kerne per støbning

Frostprøvning : 1 kerne hver anden produktionsdag

Vi var naturligvis interesserede i at få færrest mulige huller i vores konstruktioner. Normalt laves der både petrografi og luftporeanalyse på den samme borekerne, det kunne udnyttes. Begrebet "støbning" måtte defineres og aftales med Bygherren, men der var brug for flere luftkerner end vi kunne få fra Petrografi kernerne. Desuden var det Bygherren, som bestemte, hvor de skulle bores, og der måtte kun gå 12 dage inden vi havde luftresultatet, så det kneb lidt med at få det arrangeret.

Derfor opstod ideén om at lave luftporeanalysen på den samme borekerne som frostprøvningen. TI-B 4 giver ikke bare mulighed for at placere luftporeanalysen vinkelret på overfladen, som vi var vant til, men også parallelt med overfladen. Frostkernen er i forvejen en $\varnothing 150$ mm kerne og der var lige akkurat plads til en 100×100 mm skive til luft parallelt med overfladen, se Fig. 3.

På GBC blev der lavet en del frostprøvning efter SS 13 72 44 og der var tilsyneladende ikke megen sammenhæng mellem de resultater og luftindholdet. Det var der heller ikke i ØTC's forprøvning. Efterhånden som der kom resultater fra luft og frostprøvning fra disse modstående savsnit, så var der en ret god sammenhæng. Fig. 4 viser de indtil nu opnåede resultater fra de færdige konstruktioner. Det er enkeltresultater, alle sammenhørende luft og frost resultater er fra samme borekerne og med samme betonrecept. Grænsen for luftindholdet er minimum 3,0 % total luft, grænserne for frostaftskaling er vejledende, da de relaterer sig til et gennemsnit af 4 prøver. De to sæt grænser ser ud til at passe rimeligt godt sammen.

Hvad så med de andre parametre fra luftpore analysen? Specifik overflade, Fig. 5. og afstandsfaktor, Fig. 6. Ingen af disse ser ud til at have nogen sammenhæng med aftskalingen. Den absolut bedste sammenhæng får man ved at se på luftindholdet mindre end 0,35 mm i diameter, Fig. 7. Grænsen på 1,5 % luft < 0,35 mm er en, som jeg har sat, der hvor jeg mener den er passende for lige netop denne beton.

Det er lidt vanskeligere at sammenligne resultaterne fra GBC med ØTC's, da luft kravet på Storebælt var til luft < 0,35 mm i kitmassen. Resultaterne fra GBC ses på Fig. 8. og ØTC på Fig. 9. Luftgrænsen på 8 % er Storebæltsgrænsen, og det er ØTC's vejledende grænser for frost aftskaling, da frostprøvning ikke var en del af Storebælts specifikationen. Den større spredning på GBC resultaterne kan skyldes, at ingen af dem er fra samme borekerne, og der er resultater fra både A og B betonen. ØTC betonen giver dog noget lavere aftskaling ved lave luftindhold end GBC's. Det er derfor ikke bare luftindholdet, men også

andre parametre, f.eks. betons recepten og betonens mikrostruktur, som har betydning.

Baseret på sammenhængen mellem luft og frostresultaterne er prøvningsfrekvensen hos ØTC senere ændret til 1 kerne til både luft og frost per 1000 m³ beton. Det gør det meget lettere at planlægge borekernerne.

Luftindhold og vibrering

Hvorfor var det så vigtigt, at luftporeanalysen og frostprøvningen blev lavet på den samme borekerne ?

En svensk undersøgelse fra Concrete International, september 1995 og refereret i HETEK's vibrerings rapport påviste, at frostprøvning efter SS 13 72 44 foretaget i eller tæt på et vibratorspor giver stor afskalning. Et ØTC vibreringsforsøg refereret i publikationen fra Dansk Betondag 1997 viste, at hvis stavvibratoren er tættere på formliden end den gamle tommelfingerregel om minimum 3 x vibratorens diameters afstand til formliden, så falder luftindholdet drastisk. De to forsøgsresultater supplerer hinanden. Borekerner boret lige ved siden af hinanden kan ofte have et meget forskelligt luftindhold, se Fig. 10. De gange, hvor der med rimelig sikkerhed har kunnet konstateres et vibratorspor i en petrografikerne, så har kernen også et lavt luftindhold. Ved at lave luft og frostprøvningen på samme borekerne bliver denne forskel elimineret, og det er derfor muligt at lave en god sammenhæng mellem de to prøvningsmetoder.

En anden konklusion er, at to af forudsætningerne for et ensartet luftindhold i dæklaget er : Uddannelse af Jord og Beton arbejdere og et designkrav om plads til stavvibratoren i en fornuftig afstand fra formliden.

Afslutning

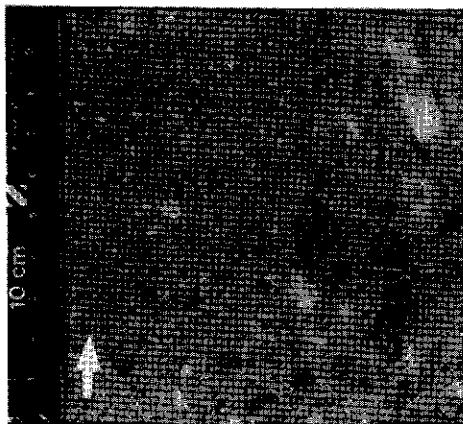
En del af de opnåede luftresultater overholder ikke bygherrens krav, men hvis man antager, at frostprøvning efter SS 13 72 44 er et relevant mål for betonens evne til at modstå frostska-der, så er der heller ikke den store risiko for frostska-der.

ESG, GBC og ØTC har alle haft deres egne blandedværker, der har derfor været optimale muligheder for at følge betonen fra produktion og udstøbning til færdigt resultat. Det er derfor også let at forestille sig, at en evt. "luft diskussion" på et

mindre, "normalt" projekt kan drukne i en diskussion om ansvarsfordeling og dermed også økonomisk ansvar mellem færdigbeton leverandør og entreprenør.

De store projekter som Storebælt og Øresund har langt bedre muligheder for at sætte ressourcer ind på at undersøge problemer. Mange beton problemer på projekterne er også blevet løst, fordi der i det daglige har været et godt samarbejde mellem entreprenørens repræsentanter og bygherrens tilsyn. Problemløsningen har dog været begrænset af de rammer, som var stillet op i de tekniske specifikationer for projekterne.

Surface



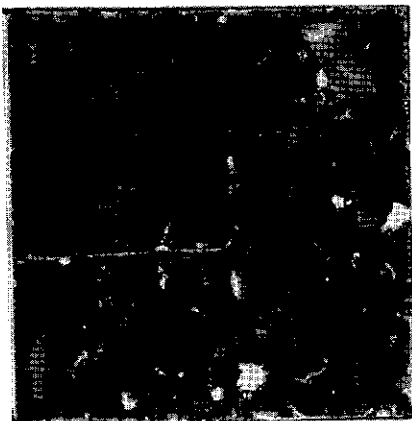
A

Surface



B

Surface



C

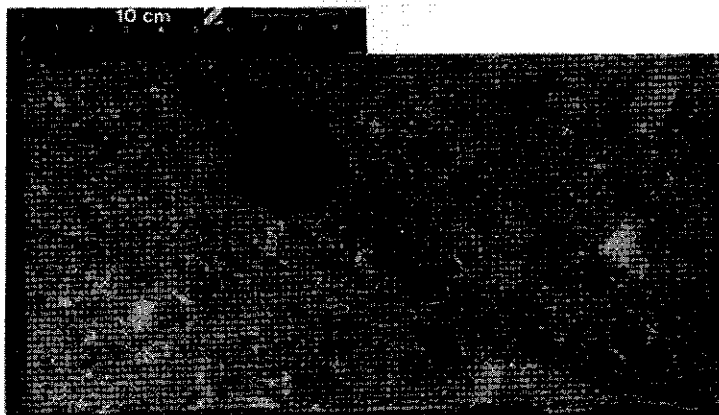
Figure 2

Core no. 882

A: Axial section seen in normal light (A).

B + C: Impregnated plane section seen in UV light. The plane section is reground to 1 mm (B) and 2 mm (C) below plane of impregnation.

Surface



Surface

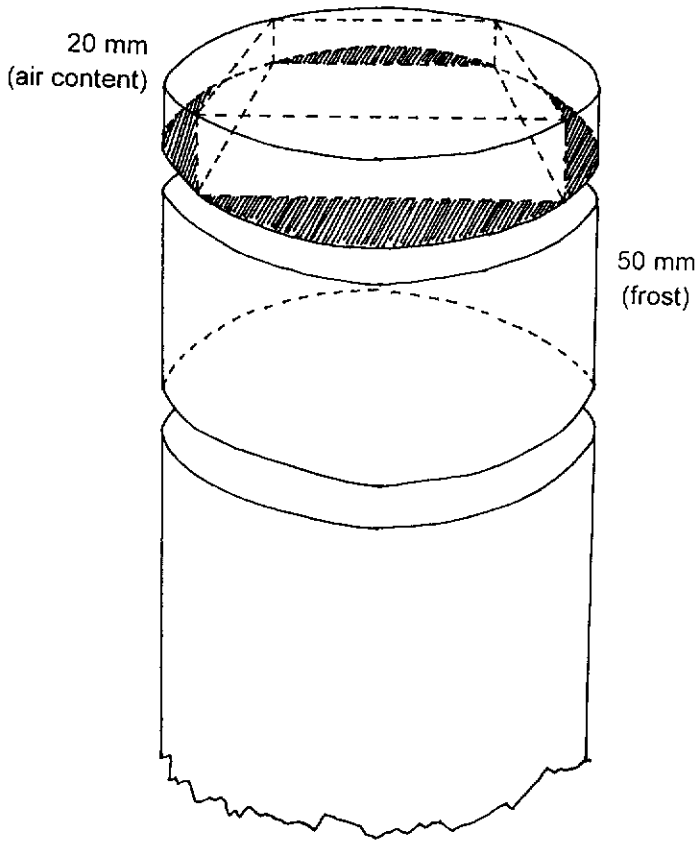


Figure 1

Core no. 1065.

Axial section through the full impregnated core, seen in normal light (upper) and UV-light (lower).

Air Content & Frost Resistance



Relation, Hardened Air Content - Frost Resistance

Total nos. of frost results : 144

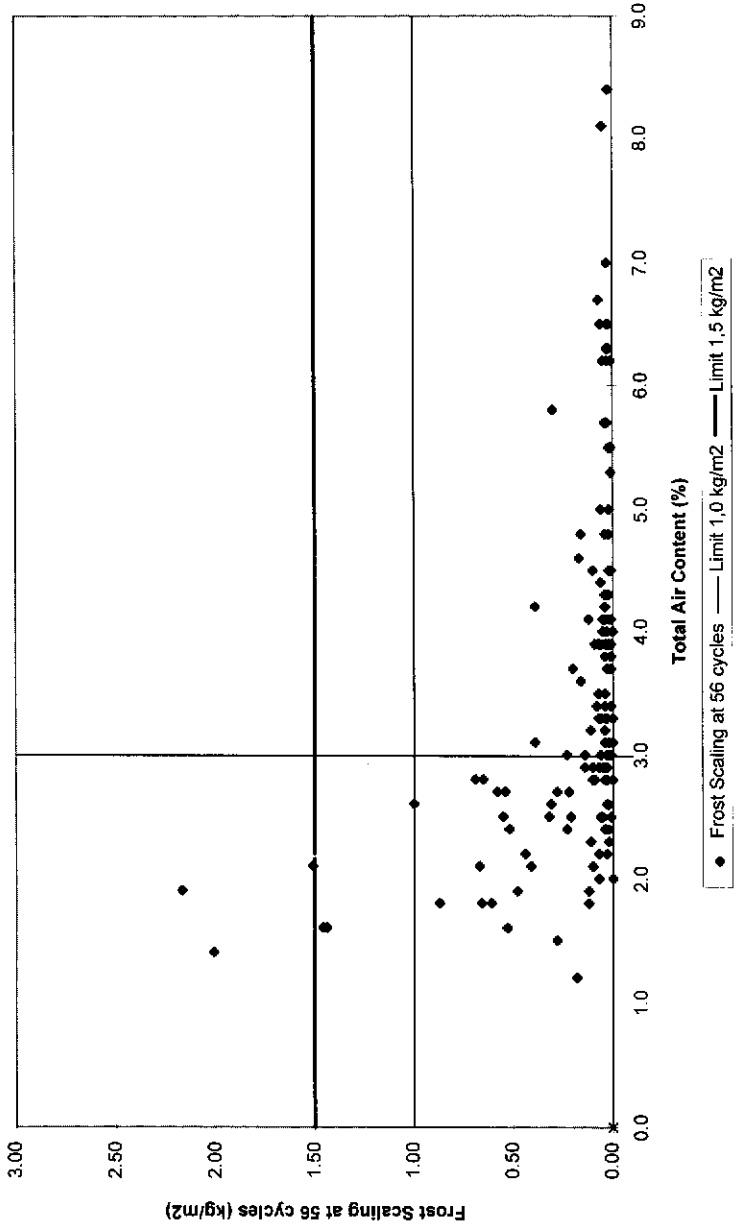


Fig. 4.

Relation Hardened Air Content - Frost resistance

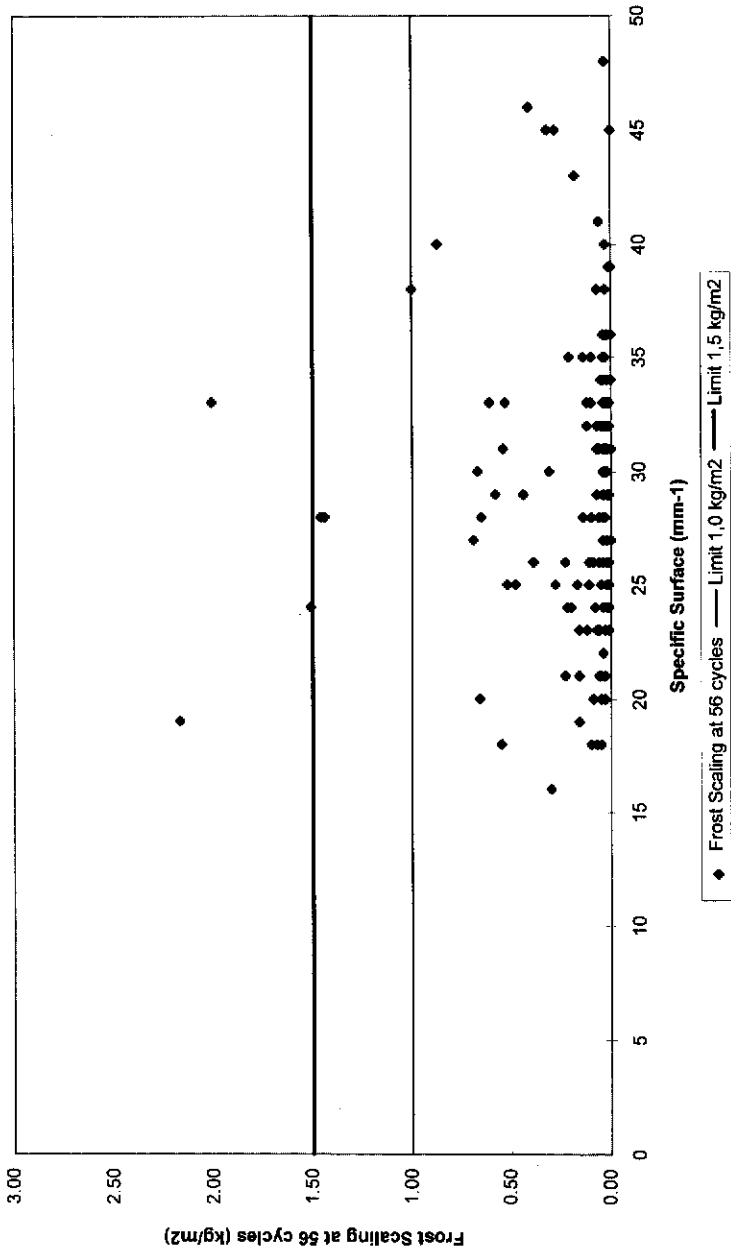


Fig. 5.

Relation Hardened Air Content - Frost resistance

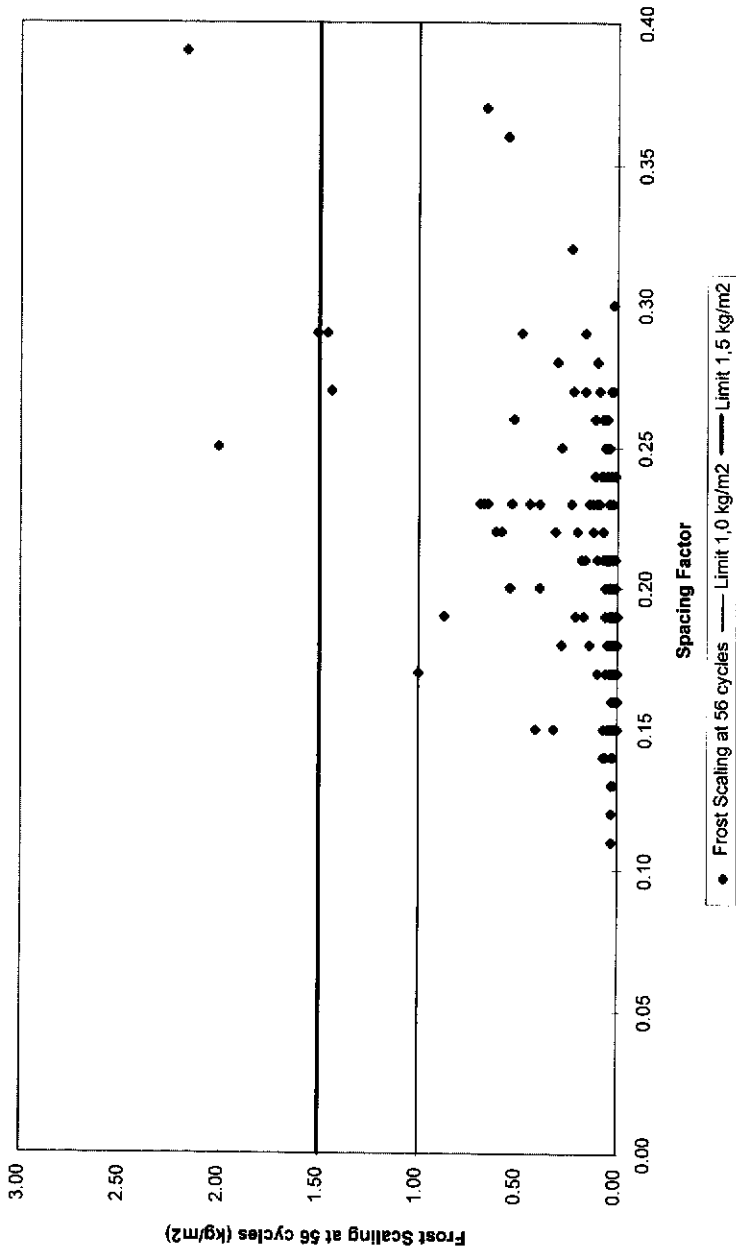
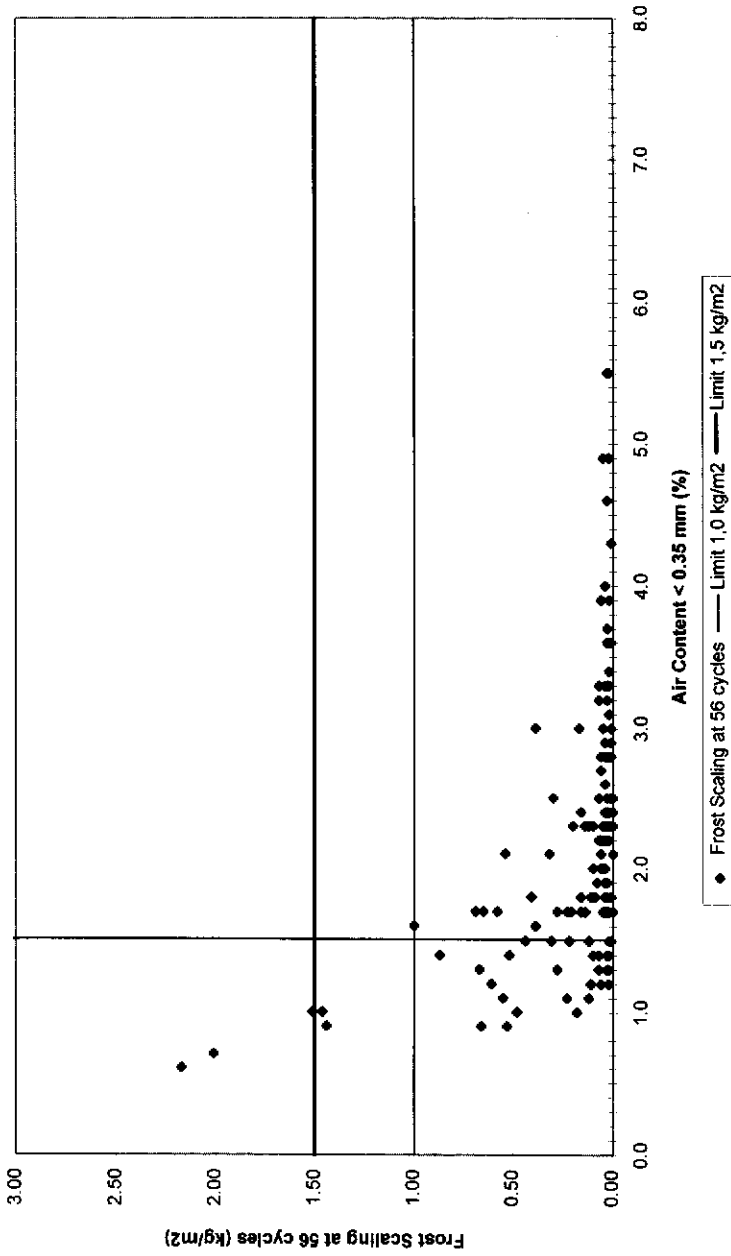


Fig. 6.

Relation Hardened Air Content - Frost resistance

Total nos. of frost results : 144



Relation hardened Air Content - Frost Resistance GBC

Total nos. of frost results : 60

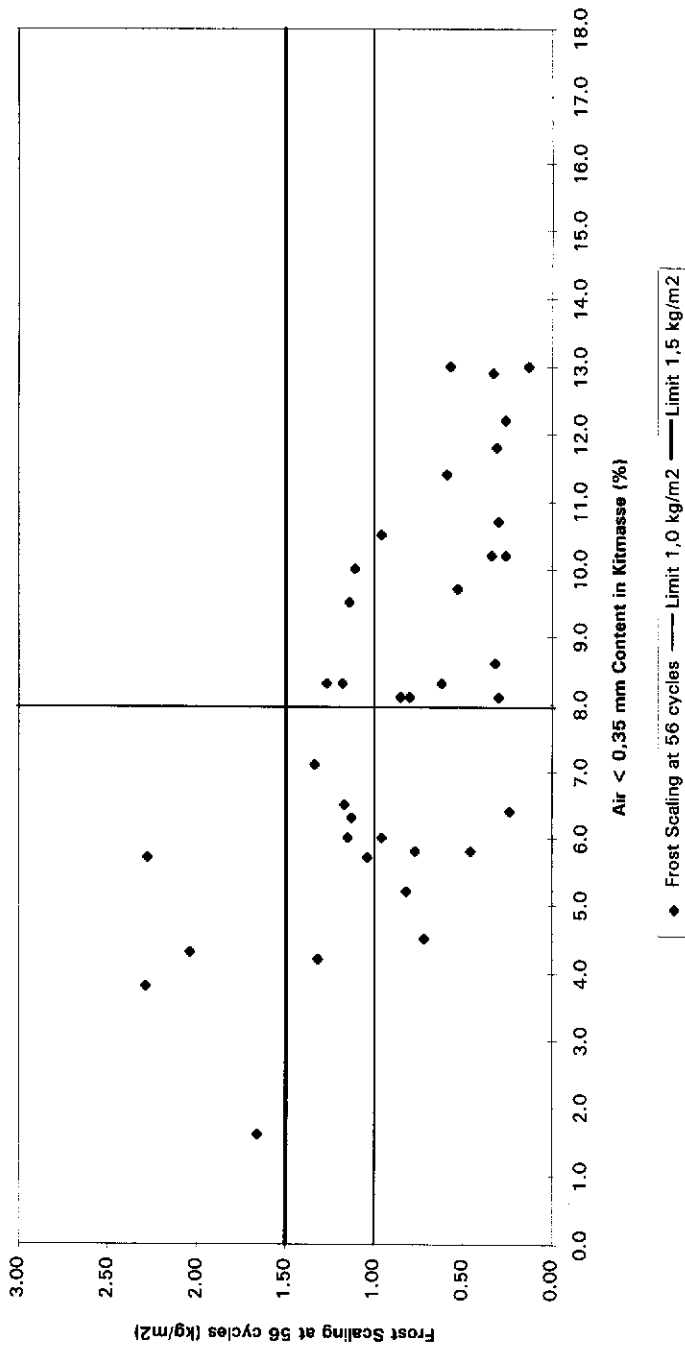


Fig. 8.

Relation, Hardened Air Content - Frost Resistance

Total nos. of frost results : 144

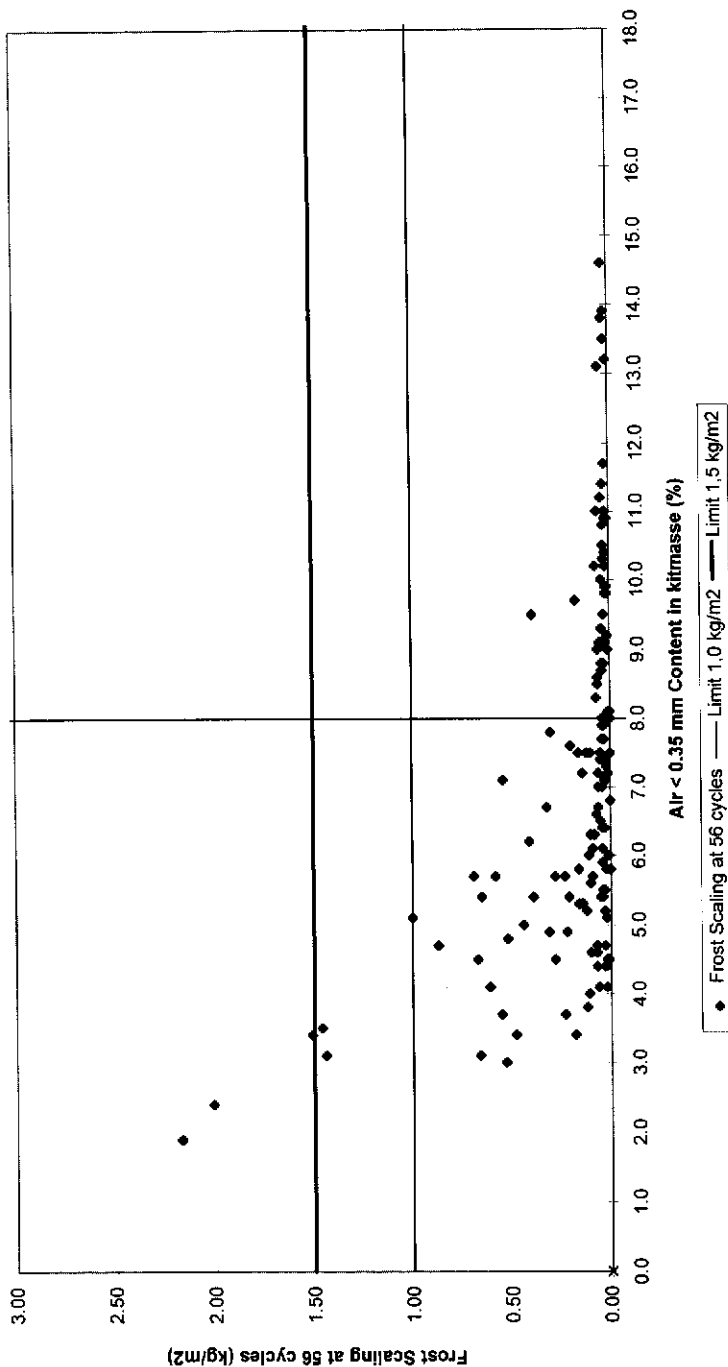


Fig. 9.

Total Air Content of Cores drilled a short distance apart

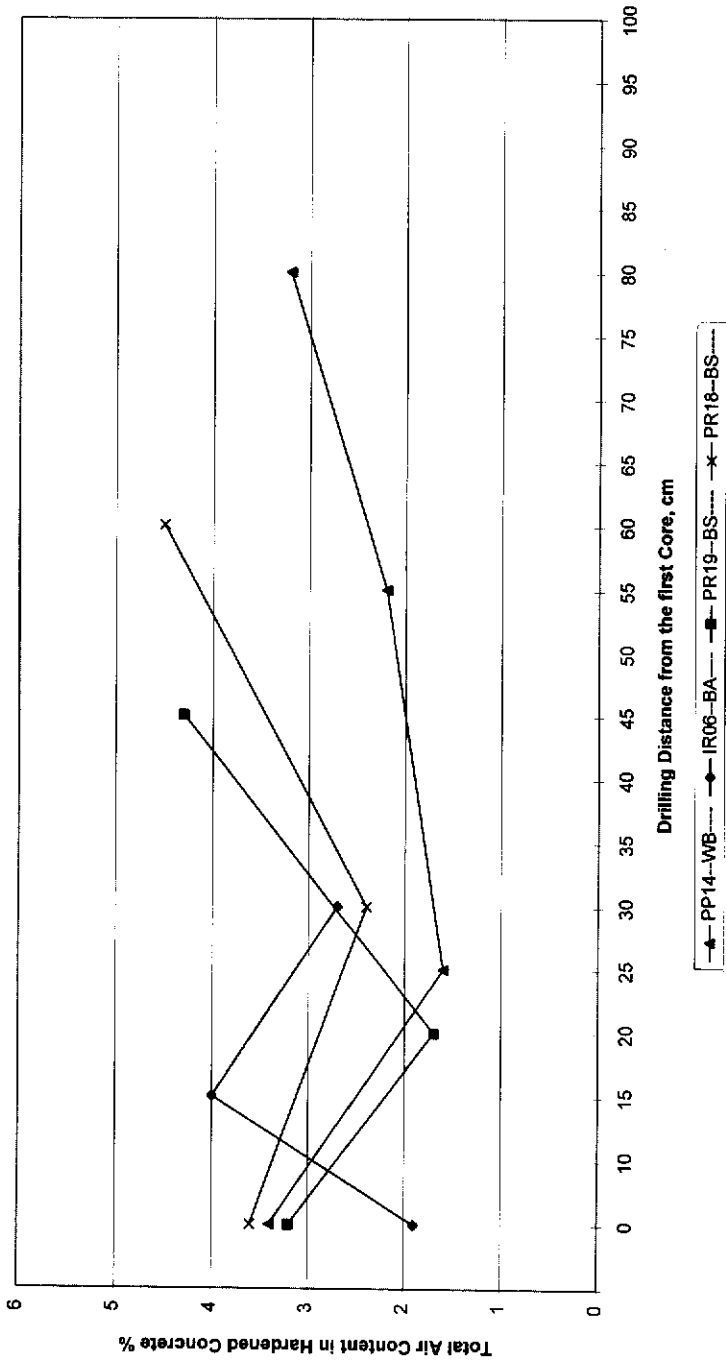


Fig. 10.

DTI Betoncentret
Gregersensvej
Postboks 141
2630 Taastrup

Hvor har Storebælts- og Øresundsprojekterne lært os noget og tilført os ny teknologi ?

Af

Chr. Munch-Petersen

CV:

Chr. Munch-Petersen var i 1987-88 med til at definere kravene til betonen til Storebæltsforbindelsen. I 1989 skiftede han til entreprenørsiden og skulle derfor opfylde sine egne krav ved produktion af betonen til de 62.000 betonelementer, der udgør foringen af den borede tunnel. Fra 1991 har Chr. Munch-Petersen været ansat på DTI, hvor han i dag er centerchef i Betoncentret. Chr. Munch-Petersen var i 1994-95 med til at definere kravene til betonen til tunnelen og broen over Øresund, og har siden været bygherrekonsulent på betonarbejdet. Chr. Munch-Petersen er med til at definere betonkrav for Vejdirektoratet og DSB og er medforfatter på DS 481 - BBBs afløser - samt aktiv deltager i internationalt normarbejde.

August 1998

Hvor har Storebælts- og Øresundsprojekterne lært os noget og tilført os ny teknologi ?

Resumé:

Artiklen beskriver baggrunden for de opstillede krav til betonen til de store anlægsarbejder på Storebælt og Øresund. Kravenes formulering ses i lyset af den løbende udvikling, herunder den tilgængelige viden. Det beskrives, hvorledes danske og svenske erfaringer skabte synergi ved udarbejdelse af kravene til Øresund. Endelig diskuteres, hvad vi har lært af disse projekter, og hvor vi kan se en fremtidig udvikling.

Storebælt

Da Storebælt i 1987 nedsatte en ekspertgruppe for at udarbejde de grundlæggende specifikationer til betonen fik gruppen et bundet mandat. Kravene skulle formuleres således, at betonen ville holde i mindst 100 år. Dette skulle opnås ved brug af afprøvet betontechnologi, få velvalgte betontyper, et effektivt kvalitetsstyringssystem og en passende oplæring af entreprenørens folk.

Baggrunden for netop disse overordnede krav var de mange betonproblemer i 80'erne. Ikke alene havde husbyggeriet oplevet enorme problemer med dårlig beton og manglende dækning, men også anlægsarbejderne havde været ramt. Vejdirektoratet reparerede brosjer, kantbjælker og brodæk på livet løs. Problemet var vejsalt, der trængte ind igennem den dårlige beton og revnerne til de armeringsjern, der skulle sikre konstruktionernes bæreevne, men nu i stedet rustede væk.

Ekspertgruppen bestod af Chr. Munch-Petersen fra det daværende B. Højlund Rasmussen (nu en del af Rambøll), Ervin Poulsen fra AEC og Ole Rud Hansen fra Cowi. Desuden deltog Leif Vincentsen fra Storebælt i de overordnede drøftelser.

Da betons manglende holdbarhed havde været erkendt siden omkring 1980, var der allerede skabt et godt udgangspunkt for, hvorledes kravene skulle formuleres. Som udgangspunkt valgte

gruppen Vejdirektoratets og DSBs fælles arbejdsbeskrivelse for betonbroer - kaldet AAB - og den basisbetonbeskrivelse - kaldet BBB - som i 1986 havde reddet betons image som et seriøst byggemateriale. BBB var det reelle resultat af et stort og kostbart ATV-initiativ vedr. betonbygværkers holdbarhed i første halvdel af 80'erne.

Men både AAB og BBB var ikke målrettet mod 100 års levetid. Levetiden var ikke direkte bestemt, men opfyldelse af AAB og BBBs krav ville formentlig give en kortere levetid i Storebælts aggressive miljø i størrelsesordenen af 60 år. Ekspertgruppen indstillede sig derfor at bruge to nyskabende tiltag, nemlig dels at beregne levetiden eksplicit, dels at skulle opnå en længere levetid end normalt. Og det skulle være på den sikre side. Storebælts tekniske direktør, Hans Henrik Gotfredsen kom fra Vejdirektoratet og vidste, at ingen sidenhen takker en bygherre for at have sparet i anlægsfasen. Altså besluttede han overordentligt fornuftigt, at tvivlen skulle komme Storebælt til gode. Argumentet var, at skulle levetiden blive længere end 100 år, vil vores oldebørn næppe klage over "fejl"-grebet.

Samtidig var de praktiske erfaringer med dels levetidsberegninger dels de moderne betoners levetid begrænset. Det kan opfattes som et problem, men skal ses i lyset af, at 100 års sikre erfaringer ville kræve, at der blev brugt 100 år gammel teknologi, det vil sige ingen betonbiler, ingen betonpumper, ingen vibreringsmateriel og genopbygning af håbløst forældede produktionsfaciliteter. Man er derfor nødt til at gå en anden vej, nemlig at benytte moderne teknologi bedømt på baggrund af de 100 års erfaringer, og med dette udgangspunkt søge at kigge 100 år fremad i krystalkuglen.

Det betyder blandt andet, at man skal forudse 100 års levetid med en cement, der kun er produceret i 15 år. Det kræver forsigtighed, og resultatet er da også blevet, at vi i dag med bagklogsskabens store overblik kan se, at de første 10 års erfaringer tyder på, at betonen til Storebælt formentlig er blevet for god. Den vil holde i århundreder, hvis ikke nye - hidtil ukendte - betonsygdomme dukker op.

Armeringen rustet med tiden

Betonen til Storebælts gode holdbarhed har den specielle årsag, at gruppen hurtigt fokuserede på den såkaldte chloridindtrængen, hvor salt fra havvand eller tøsalt langsomt arbejder sig ind i betonen. Når chloriderne når frem til den i betonen indstøbte armering, kan armeringen begynde at ruste. Det skyldes, at normal beton uden salt er i stand til at gøre almindeligt stål til rustfrit stål, fordi der i betons meget basiske miljø dannes et beskyttende oxidlag på stålets overflade. Chloriderne nedbryder denne beskyttelse ved at ion-bytte med hydroxyl-ioner på ståloverfladen.

Altså skulle chloriderne bremses og standses. Det kan ske ved at gøre betonen tæt og samtidig tilsætte stoffer, der kan binde chlorider. Betonens tæthed styres af det såkaldte vand-cement forhold. Det udregnes simpelthen ved at dividere vandmængden med cementmængden, idet det tillægges at indregne eventuelle begrænsede mængder af flyveaske og mikrosilica som værende ækvivalent med cement, efter at de pågældende mængder er ganget med en aktivitetsfaktor.

Aktivitetsfaktoren er 0,5 for flyveaske og 2 for mikrosilica, fordi flyveaske er et groft og ikke særligt reaktivt produkt, mens mikrosilica er et fint og meget reaktivt pulver.

Når vand-cement forholdet ikke bare kan sættes vilkårligt lavt, hvorved betonens tæthed ville blive meget stor, skyldes det, at der også er et ønske om have en vis vandmængde i betonen for at gøre betonen udstøbelig og dermed anvendelig i praksis. Når vandmængden ønskes øget, er det derfor nødvendigt også at øge cementmængden.

Konklusionen var altså, at vand-cement forholdet skulle være lavt, men spørgsmålene var tilsvarende: 1) **hvor lavt** og 2) **kunne det lade sig gøre at bruge en sådan beton i praksis?**

Ervin Poulsen kastede sig ud i en række beregninger baseret på det begrænsede erfaringsmateriale, der var til rådighed. Beregningerne viste, at for at opnå 100 års levetid, skulle de hårdest påvirkede dele af konstruktionerne udføres med et vand-cement forhold på under 0,35, og at der samtidig obligatorisk skulle tilsættes både mindst 15 % flyveaske og mindst 4 % mikrosilica. Flyveaske ville binde noget chlorid og mikrosilica ville tætte betonen.

Alt dette er dokumenteret i to danske, offentligt tilgængelige artikler i henholdsvis Dansk Beton, nr 2, maj 1989, ved Leif J. Vincentsen og Chr. Munch-Petersen og Dansk Betondag 1990, publikation nr 36, side 19, ved Ervin Poulsen. Desuden giver et særnummer af Dansk Beton, nr 2, maj 1990 i en række artikler en god status for overvejelserne. Efter min bedste vurdering er der med datidens viden og baggrund handlet fonuftigt.

Entrepenørerne sure

Det viste sig imidlertid efterfølgende ved anlægsarbejderne, at entrepenørerne ikke var udeelt begejstrede for kravene til betonen. Entrepenørerne følte i varierende grad, at betonbeskrivelsen var blevet unødigt restriktiv i detaljerne, hvorved der næsten var foreskrevet en betonrecept.

Sandheden i dette udsagn er, at netop modelberegningerne for chloridindtrængen havde medført meget restriktive krav og specielt var kravet om tilsætning af både flyveaske og mikro-

silica styrende. Netop dette krav var kommet ind i sidste øjeblik, hvorfor det ikke var så gennemarbejdet som de øvrige krav. Det var desuden første gang, at der i Danmark var krævet begge stoffer anvendt obligatorisk. AAB, BBB og senere Øresundskravene har ikke et tilsvarende obligatorisk krav.

Omvendt var der dog flere muligheder for at optimere betonen. Der kunne arbejdes med tilslagetets kornkurver og delmaterialernes kvalitet for på denne måde at tilpasse betonen til konstruktionerne. Til tunnelelementerne blev der således udført en række prøvestøbninger for at tilpasse betonen til det indkøbte formsystem, hvorefter produktionen af elementerne gik stort set uden problemer.

Værre var det ved støbningerne på især Vestbroen, hvor en valgt udførelsesmetode med glidestøbninger på underbygningselementerne og letflydende beton formvibreret i tynde vægge på overbygningselementerne ikke viste sig at kunne lade sig gøre i praksis. Det affødte en stor diskussion og efterfølgende ekstrakrav fra entreprenøren.

Tilsvarende problemer omend i mindre grad opstod på underbygningen til Højbroen.

Afhængigt af ens udgangspunkt kan årsagen til disse problemer henføres til en dårlig betonbeskrivelse, for dårlige entreprenører eller for stivnakkede bygherrer.

Som en person, der har været på alle sider i sagen, er det min klare vurdering, at alle de tre anførte årsager optræder i et vist omfang, men det er først, når de optræder samtidigt, at problemerne bliver uoverskuelige.

Specielt skal det fremhæves, at entreprenørerne var meget sene til at forstå, at de stod overfor nye og skærpede krav, og ikke blot kunne anvende enhver velkendt eller valgt teknologi. Betonen og udførelsesmetoden skulle afpasses til hinanden. Tilsvarende var bygherren for sen til at se positivt på ændringsforslag til kontraktens bestemmelser - det vil sige, at se på forslag til ændringer i betonbeskrivelsen.

På anlægsarbejder som Guldborgsundtunnelen og Farøbroerne blev beskrivelsen ændret på entreprenørens anfordring undervejs i byggeprocessen, mens Storebælt var meget vanskelig at få til at ændre selv detaljer til det bedre. Først efterhånden lykkedes det således entreprenørerne at få ændret et noget snærende krav til det maksimale vandindhold i betonen. Netop dette krav var indført i god mening i beskrivelsen for at forhindre de såkaldte "norske" betoner med meget cement og stort vandindhold, men viste sig u hensigtsmæssigt formuleret og talsat allerede på Vestbroen, og en langstrakt fastholdelse af kravet gav næppe Storebælt nogen kvalitetsforbedring.

Øresund - Kyst til kyst

Da Øresundskonsortiet i 1994 nedsatte en ekspertgruppe for at udarbejde betonspecifikationer til tunnelen og broen under og over Øresund, indeholdt kommissoriet for arbejdet flere store udfordringer.

Arbejdet skulle som en første fase indeholde opstilling af en betonstrategi, det vil sige et nedskrevet sæt overordnede retningslinier. Samtidig skulle specifikationerne tage hensyn til den nyeste viden og erfaring, og endelig skulle beskrivelsen være acceptabel for både danskere og svenskere. Dette sidste betød i praksis, at erfaringerne fra Ølandsbroen og Storebæltsbroen skulle koges sammen med den danske brobeskrivelse AAB og den svenske Bronorm.

Ekspertgruppen bestod fra starten af Chr. Munch-Petersen fra DTI Byggeri, Betoncentret, Göran Fagerlund fra Lunds Tekniska Högskola og Jens Frandsen fra Rambøll. Senere har også Ulla Kjær fra ØLC (Rambøll), Kaj Madsen fra ASO (Gimsing og Madsen) og Anette Berrig fra Betoncentret deltaget i gruppen, der stadig er aktiv med hensyn til overordnet at vurdere kravopfyldelsen.

Betonstrategi

Arbejdet blev indledt med at definere en betonstrategi. Dette arbejde tog længere tid end resultatet umiddelbart skulle antyde, men det viste sig undervejs at være en god investering. Når der opstod diskussion om dette eller hint kravformulering, kunne der nemlig i strategien ofte hentes inspiration til, hvorledes diskussionen skulle afgøres.

Strategien indledes med, at bygherren skal definere og styre kvaliteten. Det skal ske ved at udarbejde krav til produktion af beton (Materials) og til udførelse (Workmanship). Arbejdet foregik på engelsk, hvorfor der er angivet det valgte engelske ord i parentes.

Styringen af kvaliteten skal ske ved krav til inspektion, prøvning og dokumentation som en del af entreprenørens kvalitetsstyringssystem efter EN ISO 9001.

De stillede krav skal være baseret på velkendt teknologi og skal sikre en levetid af konstruktionerne på mindst 100 år uden større reparationsarbejder og med passende vedligehold.

Ved at omsætte denne strategi til omfattende udbudsdokumenter vil bygherren sikre sig, at der ikke konkurreres på kvalitet, og at der er en åben og fair konkurrence på pris.

Endelig blev det fastslået, at specifikationerne skal sikre en høj grad af frihed til at entreprenøren kan vælge den for ham og hans valgte produktionsmetode optimale betonblending.

Velkendt teknologi

Ved at kræve velkendt teknologi sikrer Øresundskonsortiet sig mod eksperimenter. Velkendt teknologi blev defineret som teknologi, der er omhyggeligt afprøvet i praksis under tilsvarende miljøforhold.

Øresundskonsortiet har desuden som en logisk følge af den ovenstående strategi erkendt, at der hellere skal anvendes en velkendt teknologi end bruges en ny - og måske usikker - teknologi for at spare anlægsomkostninger.

Det viste sig dog undervejs i arbejdet med at udarbejde specifikationen, at disse principper ikke altid kunne føres fuldt ud igennem. For det første kunne det diskuteres, hvilke teknologier der er velkendte, og af hvem. For det andet var der flere tilfælde, hvor eksperterne anså de "velkendte" (eller måske snarere de almindeligt anvendte) teknologier for usikre. I disse tilfælde kunne det være en bedre ide, at anvende en ny teknologi - som eksperterne anser for sikker - end at holde fast i den hidtil anvendte og usikre fremgangsmåde.

Disse nye fremgangsmåder blev kaldt innovationer. De fire væsentligste innovationer er:

- Brug af de europæiske delmaterialestandarder
- Veldefinerede overensstemmelsesprocedurer
- Spændingsberegninger i hærdefasen
- Levetidsberegninger der omfattede hensyn til udførelsen

De veldefinerede overensstemmelsesprocedurer omfatter en konsekvent beskrivelse af, hvor mange prøver der skal udtages, hvordan prøvningen skal foregå, og hvordan resultatet af prøvningen skal være, for at kravet er opfyldt.

Overensstemmelsesprocedurerne blev udregnet på baggrund af en 5% fraktal, hvilket gav meget tætte prøvningsfrekvenser fx for luftindhold i frisk beton. Til gengæld er der foreskrevet en metode, der sikrer de 5% uden at kassere allerede leveret beton. Det sker ved at udføre en stikprøvekontrol, hvor den fremtidige prøvningsfrekvens afhænger af de seneste resultater, kombineret med en kassation af enhver fejlbehæftet stikprøve. Frekvenserne er konstrueret således, at den producent, der producerer en god kvalitet, kan nøjes med at kontrollere hver

tredje læs, mens den dårlige producent vil komme til at udføre næsten en totalkontrol.

Tekniske noter

For at sikre sig en entydig strategiopfyldelse - herunder specielt en enighed om stedet for den velkendte teknologi - blev det besluttet, at udarbejde en række tekniske noter. Disse tekniske noter har ikke noget specielt struktureret format, men indeholder en state-of-the-art og en kritisk analyse af de hidtil anvendte fremgangsmåder. De afsluttes med en anbefaling til principper for opstilling af krav på det specifikke område.

Der er udarbejdet tekniske noter på følgende områder:

- Frostbestandighed
- Temperatur- og spændingskrav
- Udtørningsbeskyttelse
- Overensstemmelsesprocedurer
- Sammenligning af Øresundskrav med krav til tilsvarende konstruktioner
- Chloridindtrængning
- Alkali-kisel reaktioner
- Slaggecement
- Udstøbningsmetoder
- Revner
- Brandmodstand

Endelig blev der udarbejdet en redegørelse for hele arbejdet.

Betonkravene

Denne strategi og de tekniske noter fik som konsekvens, at der kunne opstilles nogle retningslinier for betonbeskrivelsen:

- Restriktioner på entreprenørens muligheder for at sammensætte sin betonblanding skulle begrænses og kun sikre anvendelse af velkendt teknologi
- Den valgte betonblanding skulle om muligt vurderes gennem test af ydeevne (performance-test)

- Restriktioner på valg af delmaterialer skulle sikre anvendelse af velkendt teknologi og delmaterialer af høj kvalitet
- Krav til udførelsen skulle opstilles på baggrund af erfaringsregler
- Beregningsmetoder og prøvningsmetoder skal i hvert tilfælde være defineret med et tilhørende acceptkriterium

Det viste sig dog vanskeligt at bruge performance-tests i større omfang. Dette skyldes, at da betonens levetid skal være 100 år, må man nødvendigvis til prøvning af holdbarhedsegenskaber bruge en accelereret udgave af den relevante påvirkning.

Det kan fx være i form af hævet eller sænket temperatur, større tryk eller højere koncentrationer. Men da de fysiske og kemiske love, der styrer nedbrydningen af beton ikke er kendt i detaljer, kan det heller ikke vurderes, hvorledes et accelereret prøvningsresultat kan omsættes til virkeligheden.

Hvis det fx viser sig, at mættet saltvand ved 50 grader og 10 atm tryk trænger 47 mm ind i en neddykket betonprøve på 120 dage, hvor længe vil chloriderne da være om at nå armering med et dæklag på 75 mm i en betonkonstruktion 1 meter over vandoverfladen syd for Saltholm ?

Resultatet blev, at der kun anvendes noget, der ligner performance-test, vedr. frost og alkali-kisel reaktioner - og her endda suppleret med detailkrav. De andre forhold dækkes ind igennem detailkrav. Det kan fx være krav til vand-cement forhold, maksimal mængde af mikrosilica, maksimalt indhold af chlorid osv.

Et meget væsentligt detailkrav var vand-cement forholdet, der blev sat til maksimalt 0.40 for de hårdest udsatte konstruktionsdele, og uden krav om obligatorisk tilsætning af mikrosilica og flyveaske. Der var desuden ikke noget krav til maksimalt vandindhold.

Entreprenørerne glade

Entreprenørerne har taget godt imod betonbeskrivelsen. Entreprenørernes tilbagemeldinger til Bygherren har været tilfredshed med de muligheder for at vælge betonsammensætningen, der er indbygget i kravene.

En konsekvens af den vide ramme for betonsammensætning har blandt andet været krav om dæklag på 75 mm for de hårdest påvirkede dele. Dette fremgik dog klart af udbudsmaterialet, og er derfor indregnet i entreprenørens pris. Udførelsmæssigt er der ingen problemer med at udføre store dæklag.

Hvad har vi lært ?

Hvis man samlet vurderer betonkravene og udførelsen på Storebælt og Øresund, er det vigtigt at gøre sig helt krystalklart, at der er cirka fem års tidsforskydning mellem de to sager, og erfaringer - gode som dårlige - er overført på alle sider af bordet fra Storebælt til Øresund, hvor der desuden er indgået svenske erfaringer.

Det giver derfor ingen mening at sammenligne de to projekter på lige vilkår. Man kan sige, at det ville være mærkeligt, hvis ikke alle parter fungerede bedre på Øresund end på Storebælt. Men lad os alligevel prøve at give en samlet efterkritik.

Først og fremmest er det afgørende, at hver part i et sådant projekt forstår sin rolle og har kompetence til at leve op til den.

Det betyder helt konkret, at bygherren og hans rådgivere og konsulenter skal forstå, at deres opgave er at fortælle entreprenøren inden licitationen, hvad det præcist er, man vil have, og entreprenøren skal derefter have en organisation med tilstrækkelig viden og oplæring til at leve op hertil.

Dette skønneri fungerer selvfølgelig ikke altid fuldt ud, men det fungerer bedst, hvis der er udarbejdet en betonbeskrivelse, der angiver de præcise nødvendige og tilstrækkelige krav, samt hvordan disse skal eftervises.

Bygherren skal her især fokusere på de nødvendige krav. Hvorfor sætte snævre rammer op for entreprenøren, hvis det ikke er nødvendigt. Entreprenøren skal have et så stort vindue (window of opportunity) som muligt at gebærde sig indenfor, og vinduets rammer skal være så veldefinerede som muligt. Herved får bygherren den rigtige pris og den rigtige kvalitet, og bygherren kan også tillade sig at stå hårdt fast på sine krav.

Alligevel skal bygherren være åben overfor fornuftige alternative forslag fra entreprenøren. Men entreprenøren må erkende, at "fornuftigt" ikke er det samme som at dække over fejl eller blot spare penge ved at levere en ringere kvalitet. Der er ingen tvivl om, at entreprenørerne kunne tjene mange penge ved at have en teknisk meget kompetent stab, der kunne fabrikere fornuftige alternative forslag.

Rollefordelingen er lykkedes bedst på Øresund. En vigtig årsag hertil er efter min opfattelse, at bygherren fra starten gav sig tid til at definere en velgennemtænkt strategi med hensyn til betonbeskrivelsen.

Sådanne strategier mangler ofte, og er fx sidst set næsten at være helt fraværende ved udarbejdelse af de nye danske

betonstandarder og den reviderede betonnorm. Det koster i form af tid og penge.

Hvis man på tværs af begge projekter vil søge at trække nogle vigtige erfaringer ud og opstille dem som firkantede punkter, kunne jeg personligt lave følgende to korte lister over 10 henholdsvis betonteknologiske og styringsmæssige erfaringer.

Betonteknologi

1. Vand-cement forholdet bør ikke foreskrives lavere end 0.40
2. Man skal ikke tvinge brug af mikrosilica og flyveaske igennem
3. Beton skal vibreres
4. Formvibratores dur ikke til anlægsarbejder
5. Der savnes en standard for sand og sten
6. Der skal mere styr på tilsætningsstoffer
7. Udførelse er kravmæssigt for udefineret
8. Revneviddeberegninger er korrekte
9. Chloridindtrængningsmålinger er tvivlsomme
10. De fleste fejl er banale

Styring

1. Bygherren skal sikre en god struktur med en klar rollefordeling og et godt klima for konfliktløsninger.
2. Bygherren skal sikre, at rådgivere og konsulenter er bevidste om deres rolle.
3. Entreprenøren skal have tildelt ansvar for eget arbejde.
4. Entreprenøren mangler ofte folk med gummistøvler på.
5. Entreprenøren kan med fordel have mere styr på sine leverandører og underentreprenører.
6. Bygherren skal se velvilligt på fornuftige forslag fra entreprenøren
7. Entreprenøren skal styrke sin evne til at lave fornuftige forslag.
8. Planlægning sparer tid.
9. Planlægning på kontoret følges ofte ikke på pladsen.
10. De fleste fejl er banale.

Fremtiden

Betonteknologi

Det er klart, at det ville være ideelt, hvis beton kunne funktionsprøves ved at underkaste et udstøbt prøvelegeme en accelereret prøvning af det aktuelle miljø - og prøvningsresultatet var levetiden målt i år.

Sådan er det ikke, og vil efter min bedste overbevisning aldrig blive det. Stærke kræfter - især fra laboratorieside - ønsker denne form for prøvning, og der er mange fantasifulde forslag, men de holder ikke.

Fremtiden for betonbeskrivelser vil derfor også fremover være detail-krav, der opstiller en veldefineret ramme, hvor indenfor entreprenøren kan bevæge sig.

Det må forventes, at udviklingen på prøvningsområdet vil bevæge sig i to modsatte retninger, idet man på nogle områder indfører en slags funktionsprøvning og visse krav vil endda blive hængt op alene på et funktionsprøvningsresultat. På andre områder vil man helt ophøre med at foreskrive prøvning, idet estimeringsfunktioner på baggrund af receptoplysninger vil være tilstrækkelige til at udregne betonens egenskaber.

Det er jo den tilsvarende situation man har på statiksiden, hvor de allerfleste betonkonstruktioners bæreevne aldrig efterprøves, men estimeres (beregnes) ud fra en tegning, nogle regneregler og oplysning om betonens styrke. Hvis også holdbarheden kunne estimeres i normalsituationerne, ville mange ressourcer kunne spares.

Styring

Fremtiden vil givet bringe os i situationer, hvor det foreslås, at entreprenøren selv kan definere alle detailkrav ud fra et overordnet funktionskrav til fx en levetid på 60 år. Efter min bedste vurdering hænger dansk praksis og erstatningsret slet ikke sammen ved en sådan fremgangsmåde.

Det ville betyde, at kun de seriøse entreprenører ville opstille fornuftige detailkrav, hvorfor de også ville tabe licitationerne. Konsekvensen ville blive store kvalitetsproblemer på bare få års sigt.

Det betyder ikke, at vi ikke skal arbejde med entreprisreformer af denne type, herunder totalentrepriser og build-and-operate projekter, hvor entreprenøren bygger og driver fx et trafik-anlæg i en 20-års periode.

Men vi skal sikre, at dette ikke sker uden tab af viden og kompetence, hvilket betyder, at rådgiveres og konsulenteres rolle i disse sager skal forstås og defineres nøjere.

Konklusionen netop nu er dog utvetydigt, at med den nuværende viden og eksisterende byggejura ville et sæt specifikationer til et nyt stort anlægsarbejde både teknologisk og styringsmæssigt komme til at ligge tæt op ad Øresundkonsortiets.

Aalborg Portland A/S
Cement- og Betonlaboratoriet
Postboks 165
9100 Aalborg

Renere teknologi i cementproduktionen
forbedrer miljøprofilen af beton

af

Jesper Sand Damtoft
Udviklingschef

Juli 1998

Renere teknologi i cementproduktionen forbedrer miljøprofilen af beton

Samfundets miljøstrategier

POMS er et begreb, der vil præge miljøpolitikken fremover - i første omgang i Norden, men på sigt på internationalt plan.

POMS står for ProduktOrienteret MiljøStrategi. I den produktorienterede miljøstrategi betragtes miljøbelastningen af et produkt gennem hele livsforløbet under et. Målet er at reducere den samlede miljøbelastning. Dette er i modsætning til de tidligere strategier, der betragtede de enkelte led i produktets livsforløb isoleret, f.eks. gennem alene at fokusere på forureningsforhold, renere teknologi i produktionen eller affaldsbortskaffelse.

Miljøstyrelsen udsendte i februar 1998 en redegørelse om den produktorienterede miljøindsats [1]. I redegørelsen opstiller man som overordnet mål:

"..at styrke udvikling og afsætning af renere produkter, så den samlede miljøbelastning fra produktion, brug og bortskaffelse af produkter reduceres."

Man lægger imidlertid vægt på gennem et tilsvarende erhvervs-politisk mål:

"..at styrke dansk erhvervslivs konkurrenceevne på et fremtidigt marked, der i stigende grad sætter miljø på dagsordenen og efterspørger renere produkter."

Indsatsen skal primært rette sig mod de aktører, der har indflydelse på produkternes miljøegenskaber og markedsvilkårene for renere produkter. Man nævner her:

- Designere
- Producenter
- Forhandlere
- Indkøbere
- Forbrugere
- Affaldsbehandlere

Man overvejer i redegørelsen, hvorledes der kan skabes øget efterspørgsel efter mere miljøvenlige produkter. Blandt tiltag, der kan fremme den produktorienterede miljøindsats nævnes:

- Brug af miljømærkning ("Svanen", "Blomsten") og miljøvejledninger
- Grøn indkøbspolitik hos det offentlige

- Afgifter og andre økonomiske virkemidler
- Øget anvendelse af livscyklusværktøjer
- Kompetenceopbygning

Der foreslås oprettet et nyt Miljøråd for renere produkter og tilskudsordninger til bl.a. udvikling af renere produkter.

Drøftelser med Miljøstyrelsen, bl.a. som led i det EU-støttede projekt TESCO (se senere), peger på, at blandt de miljøparametre, der har særlig høj prioritet i Danmark er:

- Reduktion af CO₂-emissionen
- Mindsket forbrug af knappe ressourcer
- Mindsket spredning af skadelige stoffer til miljøet (f.eks. tungmetaller og kemikalier)

Det langsigtede faktor 4 og 10 princip er nævnt i oplægget. Princippet indebærer, at det samlede materiale- og energiforbrug til fremstilling af et produkt skal sænkes med hhv. en faktor 4 og 10. Hvordan dette opnås fremgår ikke af oplægget.

Der er tilsvarende strategier i de øvrige nordiske lande [2] og tiltag til at gennemføre en produktorienteret udviklingsstrategi på EU-niveau [3].

Miljøprofilen af beton

Beton må betragtes som et miljøvenligt konstruktionsmateriale. Det består af almindeligt forekommende råstoffer og det samlede energiforbrug pr. styrkeenhed er lavt.

Livscyklusanalyser som f.eks. den, der blev udført af DTI Byggeri og Carl Bro Gruppen as og publiceret i 1995 [4] underbygger dette udsagn. Tilsvarende kan udledes af en rapport, udgivet af SBI i 1998 [5]. Denne rapport placerer dog, overraskende, beton som mindre fordelagtigt i miljømæssig henseende end visse andre bygningsmaterialer. Der er dog ikke taget hensyn til den CO₂-reducerende effekt af betonens karbonatisering i rapporten.

Der er imidlertid gode muligheder for at styrke betons position som konstruktionsmateriale og bidrage til samfundets overordnede miljømål. Dette kan ske gennem bevidst at tilstræbe yderligere reduktioner af miljøpåvirkningen gennem hele betons livscyklus.

Begge rapporter peger på, at cementproduktionen udgør en væsentlig del af den samlede miljøpåvirkning i betons konstruktionsfase hvad angår energiforbrug og CO₂-emissioner. Ved at gennemføre renere teknologi i cementproduktionen kan der derfor ske en væsentlig forbedring af betons miljøprofil.

Aalborg Portlands miljøindsats

Aalborg Portland er allerede, med de givne råmaterialer og teknologien til rådighed, en energieffektiv cementproducent.

Aalborg Portland er samtidig bevidst om, at de miljømæssige aspekter i stigende grad er en kvalitetsfaktor.

Dette kommer til udtryk i selskabet miljøpolitik. Det er bl.a. Aalborg Portlands miljøpolitik [6]:

- At være opmærksom på nye muligheder for at *udvikle renere teknologi* og *benytte bedst tilgængelig teknologi* for at minimere belastningen inden for politikens område under hensyn til det økonomisk forsvarlige.
- At beskytte miljøet, herunder *reducere emissioner og forbrug af energi og råstoffer* pr. ton cement for de enkelte cementtyper.
- At sikre, at *vore produkter bidrager til, at vore kunder kan nå deres miljømål.*

Som led i gennemførelsen af politikken er Aalborg Portlands cementfabrik netop blevet miljøcertificeret efter ISO 14001. Der udarbejdes årligt et udførligt grønt regnskab og opstilles konkrete miljømål for det kommende år. Omfanget af opfyldelsen af foregående års mål offentliggøres i det grønne regnskab.

Oplysninger om miljøparametre (emissioner, råvareforbrug m.v.) efterspørges i stigende grad af Aalborg Portlands kunder. Der er derfor ved at blive oprettet en miljødatabase. Databasen vil blive opdateret løbende og være tilgængelig via internettet.

Indsatsområder for gennemførelse af renere teknologi i cementproduktionen er:

1. Opgradering af produktionsanlæg
2. Forbedringer af produktionsprocessen
3. Produktudvikling

Eksempler på aktuelle tiltag på områderne beskrives i det følgende.

Opgradering af produktionsanlæg

I perioden 1979-1997 er der investeret 1.019 mio. kr. i miljø- og energibesparende projekter.

Aktuelle projekter, der er igangsat eller netop gennemført er [6]:

- **Øget varmegenvinding og svovlrensning** ved opgradering af varmegenvindingsanlægget tilknyttet de hvide ovne.

Effekten øges fra 42 MW til 70 MW, svarende til opvarmning af 30.000 parcelhuse.

Samtidig forbedres røggasrensningen, således at røgen renses for ca. 90% af svovldioxiden. Der produceres her- efter 25.000 tons årligt i stedet for 10.000 tons. Gipsen genanvendes i produktionen af klinker og cement.

- **Genbrug af kasserede klinker og råmæl** som råmateriale i klinkerproduktionen.

I 1997 er der genbrugt 18.000 tons klinker, der ellers skulle have været deponeret. Herved spares en tilsvarende mængde råstoffer samt en del brændsel.

Sammen med øget genanvendelse af elfilterstøv, og ibrugtagning af et anlæg til genbrug af cement fra silorensning resulterer dette i et fald på 26% af den deponerede mængde fra 1996 til 1997.

- **Energisyn** og heraf følgende energibesparende projekter vil resultere i en energibesparelse på 23.000 MWh/år, svarende til 7% af det samlede energiforbrug.

Forbedringer i produktionsprocessen

- **Alternative råmaterialer og brændsler**

Der anvendes årligt ca. 400.000 tons alternative råstoffer i produktionen af cement [7]. Der er bl.a. tale om flyveaske, afsvovlingsgips, papirslam og olieholdigt slam. Hertil kommer ca. 230.000 tons sand fra uddybning af Hals Barre, dvs. sand, der ellers skulle have været "klappet" andetsteds til gene for havmiljøet.

Fremstillingsprocessens høje temperatur og lange opholdstid sikrer, at affaldet destrueres fuldstændigt. Samtidig indbygges alle ikke-brændbare andele i cementens bestanddele. Der dannes derfor ingen nye restprodukter, da alle bestanddele genanvendes i cementproduktionen.

Størst potentiale for nyudvikling på området ligger i anvendelse af brændbare restprodukter [6]. Der er i dag mangel på kapacitet til forbrænding af affald i Danmark. Der er derfor oprettet et nyt selskab: CemMiljø A/S, der har til formål at fremskaffe og oparbejde 100.000 tons brændbart, ikke-farligt affald pr. år. Herved kan 50.000 tons kul spares årligt. Det overordnede mål er at reducere forbruget af fossile brændsler til grå klinkerproduktion med 14%. Da affald som f.eks. nedbrydningstræ er CO₂-neutralt, resulterer dette i en reduktion af CO₂-emissionen fra cementproduktionen.

- **Mineraliserede klinker.** Aalborg Portland har videreudviklet en teknologi, hvor der tilsættes "katalysatorer" til råmaterialerne under brændingsprocessen. Herved kan energiforbruget reduceres, NOx-emissionen reduceres og klinker med højere styrkepotentiale produceres [8].

Produktudvikling

- **BASIS® Cement og ABC Cement** udnytter det øgede styrkepotentiale af de mineraliserede klinker til at fremstille en cement, der på trods af et indhold af 14% særlig fin-kornet kridtfiller kan fremstilles med de samme, eller bedre styrkeegenskaber end en tilsvarende konventionel cement [9]. Herved reduceres emissionen af CO₂ og andre procesgasser svarende til den reducerede klinkerandel i cementen.
- **CRC** er en højstyrkebeton, der kombinerer en tæt og stærk cementbunden matrice med kraftig armering. Matricen er gjort sej ved at tilsætte stålfibre [10]. Herved opnås materialer med egenskaber, der er sammenlignelig med stål eller støbejern, men som er væsentligt lettere.
- **TESCOP, "Grøn Beton"** er to projekter, der beskæftiger sig med renere teknologi i betons livscyklus.

TESCOP er et EU-finansieret projekt, der går ud på at udvikle renere teknologi i betons livscyklus på grundlag af livscyklusanalyser. Ud over Aalborg Portland har projektet DTI og Betonelementforeningen som danske partnere. Herudover er der partnere fra Holland, Italien og Grækenland, omfattende cement- og betonfabrikanter, en entreprenørvirksomhed og forskellige konsulentfirmaer. Projektet har et samlet budget på ca. 20 mio. kr. Aalborg Portlands andel heraf er ca. 1,2 mio. kr. Projektet blev indledt i marts 1997, og løber i tre år.

"Grøn Beton" er kaldenavnet for Centerkontrakt Ressourcebesparende betonkonstruktioner. Centerkontraktens partnere er DTI, DTU, Aalborg Universitet, Aalborg Portland, Unicon Beton I/S, COWI, Højgaard & Schultz og AB Sydsten. Det samlede budget er 22 mio. kr., hvoraf Aalborg Portland bidrager med 3,2 mio. kr. Formålet med projektet er at udvikle den nødvendige teknologi til at producere ressourcebesparende betonkonstruktioner ved hjælp af nye bindemidler, der indgår i nye betoner sammen med evt. genanvendelsesmaterialer.

Aalborg Portlands andel i udviklingsarbejdet i de to projekter omfatter bl.a. undersøgelser af:

- Øget anvendelse af alternative råstoffer
- Nye klinker- og fillertyper
- Samvirke mellem typiske tilsætningsstoffer og "grønne" cementer og bindemidler
- Optimering af anvendelsestekniske egenskaber af kalk fillerementer
- Cementstabiliserede bærelag med højt indhold af restprodukter
- Konstruktionstekniske løsninger i CRC

Konklusion

Aalborg Portland har en række aktiviteter i gang, der løbende forbedrer miljøegenskaberne af den producerede cement. Herved styrkes betons position som et meget miljøvenligt materiale, der har en vigtig position i fremtidens miljømæssigt bæredygtige samfund.

Referencer

1. "Miljøstyrelsens redegørelse om den produktorienterede miljøindsats." Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen, februar 1998. 36 p.
2. "Seminar i Stockholm om produktorienteret miljøstrategi." DAKOFA Nyhedsbrev 1/98, 16-17
3. "Produktorienteret miljøstrategi (Integrated Product Policy) - nu også i EU." DAKOFA Nyhedsbrev 2/98, 11
4. "Brancheanalyse beton - renere teknologi ved betonfremstilling." Miljøprojekt nr. 304, Miljøstyrelsen 1995, 59 p. + delrapporter
5. Petersen, E.H., Krogh, H. & Dinesen, J. (1998): "Miljødata for udvalgte bygningsdele." SBI-rapport 296. 78 p.

6. "Grønt regnskab 1997." Aalborg Portland A/S. 24 p.
7. Damtoft, J.S. (1996): "Cement år 2025." Dansk Betonfor-
ening, publikation nr. 45, 7-17
8. Borgholm, H.E. (1996): "Better, but how ?" International
Cement Review, June 1996, 66-68
9. Borgholm, H.E., Herfort, D. & Rasmussen, S. (1995): "A new
blended cement based on mineralised clinker." World Ce-
ment, August 1995, 27-33
10. Bache, H.H. (1995): "Concrete and concrete technology in
a broad perspective." Proceedings: Nordic Symposium on
Modern Design of Concrete Structures, Aalborg University,
Denmark, May 3-5, 1995

Aalborg Portland
Rørdalsvej 44
Postboks 165
9100 Aalborg
Telefon: 98 16 77 77
Telefax: 98 10 11 86
e-mail: cement@aalborg-portland.dk

Grå beton og socialproblemer
- er det befolkningens opfattelse?

af

Jørgen Norup
Underdirektør,
Salg og Marketing

**Grå beton og socialproblemer
- er det befolkningens opfattelse?**

Helt utvetydigt, ja, hvis man sætter ordet bolig foran beton og blokke bagefter, så man danner ordet boligbetonblokke, så tror jeg, at overskriften er rigtig.

Efterkrigstidens store mangel på boliger - som gjorde, at man rev hele gamle saneringsmodne boligkvarterer ned og byggede store firkantede boligbetonblokke - har så senere med gennemsnitsdanskerens stigende levestandard ført til, at den bedrestillede dansker er havnet op bag ligusterhækken i sit parcelhus, og at de dårligststillede danskere er fastlåst i boligbetonblokkene.

Hvor stammer ellers ordene Betonslum og Betonørken fra? De dukker op i den danske ordskat i årene 1970/75, og det må vel siges at være på baggrund af de ørkesløse og slumagtige tilstande, der herskede og stadig hersker i nogle boligbetonblokke områder.

Problemet kommer yderligere frem i lyset, når en dimension af store grupper af indvandrere tilføjes, som naturligt vil bo sammen, tale deres eget sprog, og som ses i gadebilledet i Danmark i relativt massivt omfang. Vi skal vænne os til at så mange mennesker af anden etnisk herkomst færdes i vor hverdag, og derfor har navne som Ishøj, Gjellerupparken i Århus samt Vollsmose kvarteret i Odense en dårlig klang.

FORBRUGERNE

Af en forbrugerundersøgelse foretaget af Aalborg Portland sammen med bureauet Parole fremgår det, at 90% af respondenterne forbinder ordet beton med TRISTHED, og det er så tæt på et socialt problem, som vi kan komme uden direkte at nævne ordet SOCIALPROBLEM.

ARKITEKTER OG INGENIØRER

Men hvad siger fagfolk som arkitekter og ingeniører til beton i dag? Ud fra samme undersøgelse, som Aalborg Portland foretog i efteråret 1997, tog man kontakt til arkitekter og ingeniører for at høre deres synspunkter.

Generelt er arkitekter meget imod industrialiseret byggeri og store lige flader, og det er det, som man forbinder beton med på den negative side. Til gengæld er der bred enighed om, at beton som materiale giver en formfrihed til at lave nøjagtigt de faconer og størrelser, man vil have. Som den tyske betonforening udtrykker det bedst: "Beton kommt darauf an, was du daraus machst" som frit oversat bliver til "Beton er, hvad du gør den til".

Ingeniørerne har nok et mere vægelsindet forhold til beton. De vil gerne lave spændende ting, hvis der er råd til det. Men alt for ofte er det ingeniørerne, der må ind som praktiske grise efter arkitekterne og få byggeplanerne til at hænge sammen økonomisk ved at skære ned på det spændende, og tilbage står så det traditionelle industrialiserede byggeri.

BETONS VÆRDIER OG BYGGEPROCESSEN

Beton giver formfrihed, det er billigt, og det er praktisk til de store flader. Men altså, - hvor er det trist på den måde. Det synes at være konklusionen på Aalborg Portlands undersøgelse.

Selve byggeprocessen er blevet for lagdelt af de mange faggrupper, siger arkitekternes formand i avisen. Ja, men hvad betyder det? Er der ikke tilstrækkelig kommunikation og koordinering af byggearbejdet fra start til slut? Er det i virkeligheden bare et stykke afleveringsarbejde, der laves af hver faggruppe fremfor et holdarbejde?

FREMTIDENS FORMGIVERE I BETONBYGGERI

Ja, hvem er det? Typisk vil man vel tænke på arkitekten som en "trendsetter", og arkitekten vil da også fortsat være én af formgiverne, men et oplagt bud er, at der vil være flere. Over sommeren 1998 har både Bolig- og Byministeren samt Kulturministeren meldt ud, at dansk byggeri er grimt.

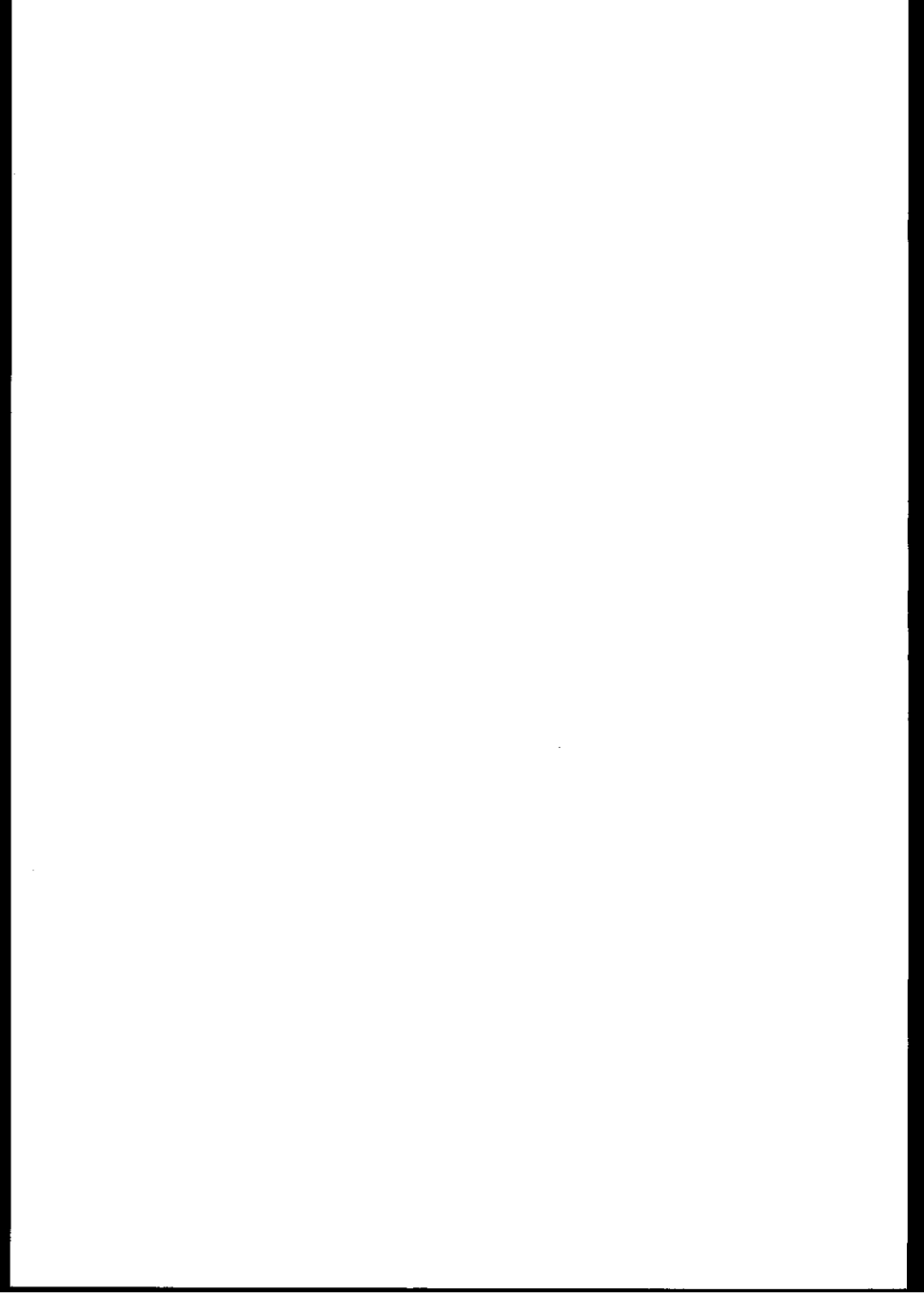
Der skal i fremtiden ske en bedre koordinering mellem bygherrer, arkitekter, rådgivende ingeniører og håndværkere/entreprenører, hvis man generelt inden for byggeriet skal opnå pænere resultater. Og specielt inden for betonbyggeriet har vi brug for smukke eksempler til at forbedre betons image.

Cement- og betonfolk er ikke storforbrugere af reklame og markedsføringsmidler, og der leves stadig mest efter parolen: "Den der lever stille lever godt". Desværre må vi så også se andre konkurrerende materialer mase sig frem på betons bekostning, fordi andre brancher har indset nødvendigheden af at måtte markere sig. At markere sig kræver, at man gider bruge masser af tid og mange kræfter på at finde nye løsninger for beton, og selvom vi er et cement- og betonfolk, så må vi vel også gerne markere os utraditionelt.

Det koster penge, ja! Men hellere bruge penge på at finde nye løsninger for beton end senere at måtte konstatere, at beton kun anvendes som en nødløsning.

Dermed kan vi også aktivt blive vor egen industris fremtidige formgivere i samspil og holdarbejde med byggeriets øvrige parter.

Kilder: Aalborg Portland/Parole Betonmarkedsanalyse, efterår 1997.
Morgenavisen Jyllands-Posten, 7. juli 1998,
"Ministre: Dansk byggeri er grimt".



Dansk Betonforening's publikationer

Publ. nr.	Titel	Pris (løssalg)
34:89	Anvisning for genanvendelsesmaterialer i beton til passiv miljøklasse	kr. 45
Uden nr.	Tillæg til nr. 34:89 (udg. 1995)	kr. 45
35:90	Anvisning for efterbehandling af beton	kr. 30
36:90	Dansk Betondag 1990	kr. 55
37:91	Dansk Betondag 1991	kr. 70
38:92	Anvisning i katodisk beskyttelse	kr. 45
39:92	Dansk Betondag 1992	kr. 70
40:93	Dansk Betondag 1993	kr. 60
41:94	Dansk Betondag 1994	kr. 60
42:95	Dansk Betondag 1995	kr. 70
43:95	Praktisk anvendelse af fiberbeton incl. diskette	kr. 45
44:95	Armeringskorrosion i chloridpåvirket beton	kr. 45
45:96	Dansk Betondag 1996	kr. 85
46:97	Dansk Betondag 1997	kr. 60
Uden nr.	Kontroljournaler 1988 - Blanketter m/vejl.	kr. 75
" "	Concrete Across Borders 1994	kr. 250
" "	Nordic Concrete Development 1995	kr. 50
" "	Abonnement "Nordic Concrete Research"	NKr. 100
" "	Abonnement på DBF's publikationer	25% rabat

Ovenstående kan rekvireres ved skriftlig henvendelse til:

Ingeniørforeningen i Danmark
Møderegistreringen
Kalvebod Brygge 31-33
1780 København V

ISSN nr. 0106-0406
ISBN nr. 87-87823-50-0
Paritas Grafik A/S