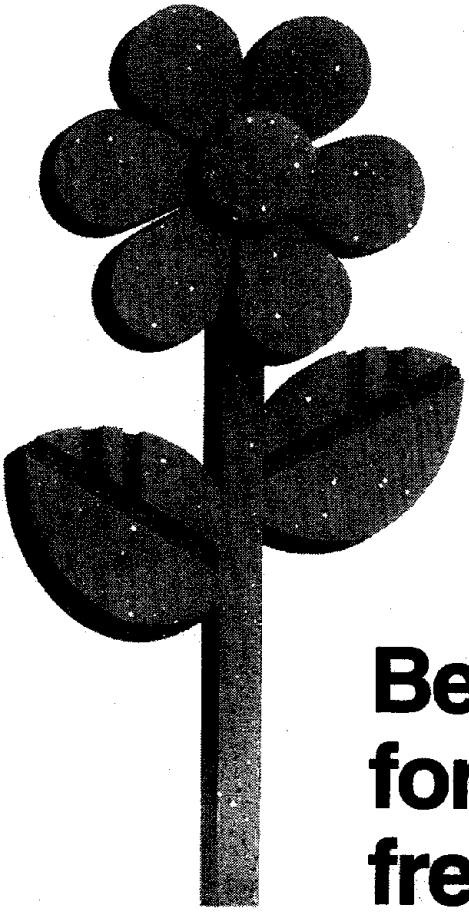
Dansk Betonforening



Beton for fremtiden

Dansk Betondag 1993

Publikation nr. 40

Dansk Betonforening

Dansk Betondag 1993

Publikation nr. 40

Publikation nr. 40:93

Denne publikation indeholder de fleste indlæg fra

Dansk Betondag 1993

der blev afholdt
den 16. september 1993
på Tårnborg Parkhotel i Korsør

Forsidetegning
af Frank Wagnersen
Promotor Reklamebureau, Fredericia

Publikationen er udgivet af:

Dansk Betonforening
c/o Dansk Ingeniørforening
Vester Farimagasgade 29, 1780 København V
Tlf.: 33 15 65 65 - Fax: 33 93 71 71

Indhold: Side

Lars Søborg:
Hvordan vil miljøkrav påvirke fremtidens beton ... 5

Bent Hald og Allan Christensen:
Renere teknologi i projekter
til bygge- og anlægsarbejder 11

Marlene Haugaard og Jacob Bjerre:
Betonproducenten og miljøet 19

Per Fogh Jensen:
Arbejdsmiljøet og de nye
(udenlandske) cementtyper 29

Christian F. Justesen:
Nye cementtyper og miljømæssige forhold omkring
fremstilling og anvendelse af cement på det
danske marked 41

Erik Bitsch Olsen:
Praktisk genbrug af beton 49

Kjeld Roger Henriksen:
Beton til storebæltsforbindelsen -
hvordan er det gået? 65

Lars Søborg
Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K

Hvordan vil miljøkrav påvirke fremtidens beton

af
Lars Søborg

Juli 1993

Beton og Miljø

Indledning

Den generelle strategi på genanvendelsesområdet er beskrevet i genanvendelseshandlingsplan 1987 - 89 og den efterfølgende handlingsplan for øget genanvendelse 1990 - 92, hvor det mål blev fastlagt, at genanvendelsen i løbet af 90'erne skulle nå 50% af de samlede affaldsmængder.

Udgangspunktet, angivet i affaldsmængden 1985 fordelt på genanvendelse, forbrænding og deponering var for bygge- og anlægsområdet i tons:

Genanvendelse	Forbrænding	Deponering
0.2	0.1	1.4

De styringsmidler, som herefter har været anvendt for at opnå den angivne målsætning, har været dels traditionelle administrative styringsmidler, d.v.s. bekendtgørelse om genanvendelse af materialer og produkter fra erhvervsvirksomheder og bekendtgørelse om bortskaffelse af affald, dels økonomiske styringsmidler i form af tilskud samt den i 1987 indførte afgift af affald, der til tilføres forbrændings og deponeringsanlæg.

Afgiften var i 1987 kr. 40 pr. tons og blev fra 1. januar 1990 hævet til kr. 130 pr. tons og er nu senest hævet til kr. 195 pr. tons.

Tilskud til projekter med relation til bygge- og anlægssektoren har andraget ca. kr. 25 mio. fordelt på ca. 70 projekter.

Status

På grundlag af dette kan det konstateres at genanvendelsesprocenten er steget til 25% i 1991, at der er regulativer for bygge- og anlægsaffald i 135 kommuner og at der er etableret 17 genanvendelsesanlæg for bygge- og anlægsaffald.

Som eksempler kan nævnes at der i DBF-regi er udarbejdet en anvisning for anvendelse af nedknust beton som tilslag ved fremstilling af beton i passiv miljøklasse, ligesom der er gennemført projekter om genbrug af frisk betonspild fra færdigbeton, betonelementer og betonvareproduktion.

Endvidere gennemføres 3 demonstrationsprojekter med "genanvendte huse".

Målsætningen for genanvendelse indenfor bygge- og anlægsområdet er herefter i den seneste handlingsplan 1993 - 97 hævet til 60% genanvendelse inden år 2000.

Delhandlingsplanen 1993 - 97

Med udgangspunkt i de hidtidige planer samt de generelle handlingsplaner for affald og genanvendelse samt renere teknologi er udarbejdet en delhandlingsplan for renere teknologi og genanvendelsesindsatsen i bygge- og anlægssektoren 1993 - 97.

Grundlaget for indsatsen bliver her et livscyclusperspektiv - d.v.s. miljøbelastningen fra vugge til grav skal belyses og indgå i prioriteringen af indsatsen. En sådan prioritering må bygge på en samlet viden om miljøbelastningen fra sektoren. Sektoren er kompliceret af, at der er flere produktionsfaser, idet både byggevarer og bygninger bør analyseres som et endeligt produkt, hvor målet er en optimering i forhold til miljøet.

Af særlig interesse for betonbranchen kan nævnes gennemførelse af materialevurderingsprojekt for beton, undersøgelse og udvikling af minimalkonstruktioner samt kortlægning af den danske byggevareindustri og de miljømæssige forhold.

Der er i handlingsplanen tillige krævet en indsats i forhold til de projekterede brancher, ligesom der fokuseres på drift- og vedligeholdelsesfasen.

Affaldsbehandlingsdelen af livscyklen er den der idag - primært af historiske årsager - er bedst beskrevet, men et af de fremhævede punkter bliver nedrivning af særligt forurenende bygninger, samt reduktion af spild i forbindelse med produktion og anvendelse.

Delhandlingsplanen skal midtvejsevalueres og ved afslutningen skal gennemføres en vurdering af den gennemførte indsats' miljømæssige konsekvenser, samt i et vist omfang de erhvervsøkonomiske og beskæftigelsesmæssige aspekter af indsatsen.

Afslutning

Der er i den forløbne periode gennemført en række projekter i samarbejde med byggebranchen, herunder også betonbranchen.

Erfaringerne med dette samarbejde er positivt og som nævnt er der opnået en række resultater, der med fordel kan arbejdes videre med.

Byggebranchen har ikke ry som en af de mest revolutionære, og stagnationen indenfor byggeriet har nok også betydet, at alle resultater ikke er implementeret i den daglige projektering og udførelse.

Den almindelige forståelse for de miljømæssige problemer vil - i givet fald suppleret med relevante styringsmidler - efter min opfattelse medføre, at målsætninger om større genanvendelse samt en væsentlig mindre miljøbelastning fra bygge- og anlægsbranchen opnås.

A. J. Moe A/S
Rådgivende Civilingeniører
Tørringvej 7
2610 Rødovre

RENERE TEKNOLOGI I PROJEKTER TIL BYGGE- OG ANLÆGSARBEJDER

af Bent Hald og Allan Christensen
Civilingeniører

Juni 1993

"RENERE TEKNOLOGI I PROJEKTER TIL BYGGE- OG ANLÆGSARBEJDER".

1. BAGGRUND

Miljøministeriet har med henblik på indførelse af renere teknologi vedtaget en handlingsplan: "Miljøministeriets handlingsplan for Renere Teknologi".

Under handlingsplanen er der udarbejdet "Delhandlingsplan for renere teknologi- og genanvendelsesindsatsen i bygge- og anlægssektoren 1993-1997.

Delhandlingsplanen skitserer et udviklingsprogram, hvis langsigtede mål er dels at påvirke branchen til at tænke i renere teknologi baner, og dels at udvikle redskaber der kan anvendes af sektoren til at formindske ressourceforbrug og miljøbelastning.

I denne forbindelse har Miljøstyrelsen igangsat projektet "Renere teknologi i projekter til bygge- og anlægsarbejder", som er et forprojekt til et program for "Miljørigtig Projektering" inden for bygge- og anlægssektoren, der på sigt skal udfylde rammerne i delhandlingsplanen vedrørende projektering af bygge- og anlægsarbejder.

2. FORMÅL

Formålet med projektet er at skabe de bedst mulige forudsætninger for en reduktion af miljøbelastningen fra bygge- og anlægssektoren. Med miljøbelastning menes her:

- ressourceforbrug
- sundhedsbelastninger
- miljøbelastninger.

Der satses ikke på bestemte, kvantitative forbedringer af forholdene, men på at skabe forudsætningerne for en fortsat udviklingsproces der resulterer i, at der udarbejdes stadig mere miljørigtige projekter, og at der indføres stadig flere renere teknologiløsninger på området, herunder blandt andet en væsentlig forøgelse af genanvendelsen.

Det centrale middel hertil er at sikre, at miljøforhold ved bygge- og anlægsprojekter integreres i alle projektfaser.

Bygge- og anlægsarbejder udføres normalt under et meget stort tidsmæssigt og økonomisk pres. Disse arbejdsvilkår har medført udvikling af meget stramme og målrettede arbejdsgange og spilleregler, der er indarbejdet over flere årtier.

Da disse arbejdsgange og spilleregler er nødvendige af en

lang række årsager, tages der udgangspunkt i disse indarbejdede procedurer, og "Miljørigtig Projektering" bliver tilpasset dem.

Projektet lægger derfor vægt på, at indarbejdelse af miljøhensyn i projekteringen i videst muligt omfang gøres operationel under hensyntagen til sektorens eksisterende praksis for projektgennemførelse, herunder projekters faseopdeling i: Program, forslag og hovedprojekt, udførelse/tilsyn, drift/vedligehold og senere i forløbet tilstandsvurdering/miljørevision, renovering/ombygning, nedrivning, genanvendelse og bortskaffelse.

3. ORGANISATION

Projektet gennemføres i et samarbejde mellem F.R.I, PAR, SBI, DTI, VD og DSB med F.R.I, Foreningen af Rådgivende Ingeniører som projektleder.

Projektet styres af en projektgruppe, medens det egentlige udviklingsarbejde udføres i tre bredt bemandede arbejdsgrupper:

- Byggeri
- Anlæg
- Byggevarer

Til at følge projektet og informere interesseorganisationer, er der i samarbejde med Miljøstyrelsen nedsat en Følgegruppe, som tre gange i projektforløbet vil blive samlet for at blive informeret om projektets udvikling og for at diskutere de foreløbige resultater af arbejdsgruppernes indsats.

4. TIDSPLAN

Projektet gennemføres og afrapporteres i 1993 efter følgende overordnede tidsplan:

Projektplanlægning	januar-februar
Miljøanalysemodel byggeri	marts-juli
Miljødeklaration for byggevarer	marts-august
Miljøanalysemodel anlæg	juni-oktober
Miljøscreeningsmodel for byggeri	august-oktober
Miljøvurderingsmodel	august-oktober
Redigering af slutrapport	november-december

Den øjeblikkelige status for projektet er, at Arbejdsgruppe Byggeri nu har udført 60-70% af arbejdet, Arbejdsgruppe Anlæg har indledt arbejdet i midten af juni.

Arbejdsgruppe Byggevarer arbejder med miljøinformation om byggevarer, og har herunder udarbejdet koncept til miljødeklaration af byggevarer, som har været diskuteret med udvalgte byggevareproducenter. Endvidere er der arbejdet

med mulighederne for at anvende forskellige modeller af "scoringer" eller "byggevareprofiler", som skal give en summarisk miljøkarakteristik af en byggevare.

Der har i begyndelsen af maj været afholdt det første følgegruppemøde, som gav god inspiration til det videre arbejde, der vil blive forelagt følgegruppen på det andet af de tre følgegruppemøder i slutningen af august.

5. FORELØBIGE RESULTATER

Arbejdsgruppe Byggeri forelagde det foreløbige resultat af arbejdet på et seminar, der blev afholdt i F.R.I i begyndelsen af juni. Seminaret var dels en afprøvning og diskussion af de resultater arbejdsgruppen havde nået, og dels basis for igangsættelse af Arbejdsgruppe Anlæg.

Fra de arbejdspapirer, der blev forelagt på seminaret gives efterfølgende nogle uddrag, som giver en indikation af, hvilke problemstillinger der arbejdes med.

CITAT:
Projektering - en niveaudelt beslutningsproces

Et projekteringsforløb har, sådan som de enkelte rådgivningsfaser er fastlagt, karakter af en niveaudelt beslutningsproces.

Hvis miljørigtig projektering skal være en naturlig del af projekteringen iøvrigt, er det vigtigt fra starten at opbygge miljøvurderingssystemer, med tilsvarende niveaudeling, dvs. med systematisk tiltagende specificering fra niveau til niveau.

Under alle omstændigheder er det nok især i faserne

- program (her bør opstilles krav efter flg. model:
  - direkte miljøkrav
  - miljøvurdering af øvrige krav)
- forslag
- projekt,

at der træffes de beslutninger, som får mest vidtrækkende miljømæssige konsekvenser.

CITAT:
Byggevarer og processer.

Udover at være niveaudelt er projekteringen bygningsdelsorienteret. Sådan forstået, at de forskellige sæt af informationer, der videregives fra den projekterende, i ret høj grad struktureres som en gennemgang af bygningens dele, - sædvanligvis baseret på SfB-systemet.

Bygninger fremstilles af byggevarer, og informationer om bygningen videregives i høj grad som informationer om

disse varer og deres fremstilling.

Det er derfor en nærliggende tanke, at en bygning i miljømæssig henseende summerer de enkelte byggevarers egenskaber. F.eks. kan det samlede ressourceforbrug ved fremstilling af en bygning ses som det ressourceforbrug, der ialt er medgået til fremstilling af de medgåede varer.

En ren bygningsdelsanalyse er imidlertid utilstrækkelig, fordi den ikke omfatter det ressourceforbrug, der medgår til selve byggeprocessen, - transport, sammenstilling af delene, udtørring osv.

Og i driftfasen bliver dette forhold endnu mere udtalt. Her vil måden de enkelte dele er kombineret på være afgørende. Et eksempel:

Et givet vindue repræsenterer som bygningsdel en given miljøbelastning, som må indregnes i bygningens samlede miljøbelastning.

Men om vinduet placeres mod syd eller nord i bygningen er ikke uden miljømæssig betydning, - blot er der tale om en egenskab ved husets udformning og ikke ved bygningsdelen eller byggevaren.

En bygning har altså - også i miljømæssig henseende - egenskaber, der ikke alene kan opfattes som summen af de enkelte byggevarers og bygningsdeles egenskaber. For bygninger er ikke statiske, men eksisterer i tid, og indgår til stadighed i processer, der påvirker miljøet. Processer, der inkluderer brugen af nye byggevarer og driftsmidler og påvirkes af forhold som placering, udformning og anvendelse.

For at få et dækkende billede af sagens genstand er det derfor nødvendigt - parallelt - at benytte to forskellige indgange:

- bygningsdele, byggevarer og driftsmidler.
- processer.

CITAT:
Miljøvurdering i praksis

Det drejer sig om at opbygge et "miljøvurderingssystem", der er operationelt i den daglige projektering, og som afspejler rådgivningsfasernes niveaudelte beslutningsproces, - så man i forløbet kan håndtere alt fra grove skøn til detaljerede specialvurderinger.

Det er nærliggende at sammenligne med prisberegning af bygninger. Her starter man med grove skøn på et tidspunkt, hvor der slet ikke foreligger noget projekt, men blot en forestilling om bygningens art og omfang.
Og efterhånden som projekteringen skrider frem, udvikles

mere præcise overslag baseret på prissætning, først af kategorier af bygningsdele, senere af enkelte bygningsdele - eller af enkeltprocesser, hvis det drejer sig om beregning af driftsøkonomi.

Tilsvarende burde der kunne foretages grove miljøvurderinger på basis af et første kendskab til bygningens areal, anvendelse og levetid, således at den specifikke byggevare- og procesindgang først anvendes, når projektet er relativt velbeskrevet.

Det afgørende i denne sammenhæng er, at man fase for fase gør sig klart, hvad formålet med miljøvurderingen er.

I programfasen drejer det sig primært om en overslagsmæssig vurdering, hvor levetid måske vil vise sig at være et nøglebegreb.

I forslagsfasen er formålet dels en vurdering af alternative forslag, dels en optimering i relation til forskellige virkemidler.

Og i projekt- og projektopfølgningsfaserne, er det dokumentation og finjustering, der udgør de væsentlige formål.

6. DET VIDERE ARBEJDE

Arbejdsgruppe Byggeri arbejder nu videre med at omsætte de såvel filosofiske som mere praktiske resultater af deres arbejde til målrettede og brugervenlige redskaber, som kan danne udgangspunkt for udvikling af en miljøanalysemodel for byggeri.

Arbejdsgruppe Anlæg vil begynde arbejdet med et godt udgangspunkt i Arbejdsgruppe Byggeris arbejde.

Arbejdsgruppen vil koncentrere indsatsen om definition og afgrænsning af anlægsarbejder og anlægsdele, fastlæggelse af miljøtemaer med størst betydning for anlægsarbejder og med betydelig indsats på metoder til miljøvurdering af anlægsarbejder.

Parallelt med dette arbejde vil Arbejdsgruppe Byggevarer viderebearbejde "Miljøinformationsmodel om bygge- og anlægsvarer".

7. AFPRØVNING

Efter afslutningen af dette projekt ultimo 1993 er der lagt op til at de udviklede metoder og kriterier for miljømæssig vurdering af bygge- og anlægsarbejder afprøves og videreudvikles i forbindelse med en række pilotprojekter.

En udvælgelse af miljøtemaer, som vil være forskellig fra projekt til projekt, vil være nødvendig for at opnå et overskueligt omfang af miljøvurderinger. Denne udvælgelse vil være et væsentligt element i pilotprojekterne sammen med udvikling af vurderingsmetoder, der kan bringes i anvendelse ved den meget komplekse relative vurdering af de udvalgte miljøtemaer.

Det langsigtede resultat af programmet "Miljørigtig Projektering" vil være, at der er udarbejdet en operationel og gennemarbejdet miljøanalysemodel, eventuelt i form af en "Miljø Ståbi" som det daglige projekteringsredskab, der kan benyttes ved en miljømæssig vurdering af bygge- og anlægsarbejder.

8. AFSLUTNING

Renere teknologi er et overordnet begreb, der dækker over et miljømæssigt helhedssyn, der er søgt sammenfattet i følgende definition:

"Renere teknologi er et relativt begreb. Der er tale om en strategi med sigte på, at man til stadighed skal søge at mindske ressourceforbruget og miljøbelastningen".

Det igangværende forprojekt "Miljørigtig Projektering" skal således betragtes som et element i et strategisk forløb, hvor viden og forudsætninger hele tiden vil blive ændret.

Der vil i konsekvens heraf ikke ved forprojektets afslutning ultimo 1993 ligge en færdig kogebog for, hvorledes der projekteres miljørigtigt, men der vil være beskrevet metoder og procedurer for, hvorledes det kan sikres at miljøhensyn integreres i projekteringen, under hensyntagen til bygningens eller anlæggets livscyklus.

Da indførelse af renere teknologi i vid udstrækning drejer sig om at ændre såvel holdninger som vaner hos de projekterende, drejer det sig i vid udstrækning om at gå igang med arbejdet ude i virksomhederne. Der skal formuleres miljøpolitik og spredes accept og forståelse for begreberne hos medarbejderne. Det nytter ikke at vente på et forkromet færdigudviklet projekteringsredskab.

Da beton såvel ved sit volumen som ved sit ressourceforbrug vejer tungt i bygge- og anlægssektorens belastning af miljøet, skal opfordringen til handling ikke mindst gå til Dansk Betonforenings medlemmer.

Projektgruppen bag "Miljørigtig Projektering" modtager gerne forslag og kommentarer, som kan give inspiration til det videre arbejde.

Henvendelse kan rettes til projektets deltagere, F.R.I's sekretariat og forfatterne af denne artikel.

DTI•Byggeteknisk Institut
Betoncentret
Dr. Neergårdsvej 13
2970 Hørsholm

GH-Beton A/S
Fredensvej 40
4100 Ringsted

Betonproducenten og miljøet

af

Sektionsleder, akademiingeniør Marlene Haugaard

og

Afdelingsingeniør Jakob Bjerre

Juli 1993

Indholdsfortegnelse

	Side
Indledning	21
Miljøbegreber	21
Betons livscyklus	23
Miljøbelastninger hos fabriksbetonproducenten	25
Fabriksbetonbranchens miljøhandlingsplan	27

Indledning

Umiddelbart kan det vurderes, at beton er et forholdsvis ukompliceret produkt, når vi taler om miljøbelastninger. I hvert fald når der sammenlignes med køleskabe og edb-udstyr, som er produkter sammensat af mange delelementer.

Betonbranchen i Danmark producerer årligt ca. 10 mill. tons, og udgør hermed en væsentlig del af den danske bygge- og anlægssektor. Betonbranchen defineres som producenter af fabriksbeton, betonelementer, betonvarer og letbetonelementer. Hele produktionen udgør sammen med overskuds- og fejlproduktion en stor potentiel affaldsmængde. Hvis det er muligt at reducere forbruget af råstoffer og brændsel, mængden af emissioner, støj og spildevand eller affaldsmængderne blot en lille smule, vil det have en stor effekt på miljøet, da mængden af beton er så stor.

Miljøstyrelsen finansierer, at DTI•Byggeteknisk Institut og Axel Nielsen•Carl Bro A/S i samarbejde med Betonbranchen udarbejder en samlet redegørelse for betonbranchens indflydelse på miljøet, og får peget på områder, hvor det er muligt at reducere miljøbelastningen. I projektet vil der bl.a. blive udviklet en model til brug ved livscyklusanalyse af betonprodukter. Projektet er igangsat i april 93 og forventes afsluttet i december 94.

Samtidig med opstarten af Miljøstyrelsens projekt har Dansk Fabriksbetonforening nedsat et Teknisk Udvalg, der skal behandle tekniske emner på fabriksbetonbranchens vegne herunder miljøaspekter ved produktion og anvendelse af beton. Da emnet stadig er nyt, ikke alene for betonfolk, er der på nuværende tidspunkt ikke lagt faste grænser for eller udstukket færdige retningslinier for miljøemnet i fabriksbetonbranchen.

Det tekniske udvalg består af teknikere stillet til rådighed af Fabriksbetonforeningens medlemmer. Jakob Bjerre varetager på udvalgets vegne indsamling af viden og udarbejdelse af oplæg mv. på miljøområdet, hvor det må forventes, at der vil ske en udvikling mod egentlige miljøstyringssystemer i den kommende tid. Det er derfor intentionen at være med til at præge udviklingen på den for beton relevante del af miljøområdet, sådan at branchen får bedst muligt udbytte af de allerede foretagne investeringer i moderne produktionsudstyr og processtyring, såvel som kommende investeringer i teknik og miljøforbedrende udstyr.

Miljøbegreber

Danskernes miljøbevidsthed er voksende i disse år, og drejer sig ikke alene om at spare på vandet og sortere husholdningsaffaldet. Der vil fremover også blive stillet krav til den samlede betonbranche både i form af lovgivning og fra forbrugerens side. Der vil engang i fremtiden blive krav om miljødeklarationer for beton og miljøvurderinger af komplette byggerier. I takt med den voksende miljøinteresse og miljødebat er der nogle begreber, som man ofte støder på. I projektet for Miljøstyrelsen anvendes

bl.a. følgende tre begreber:

- livscyklusanalyse
- renere teknologi
- miljøvurdering

Livscyklusanalyse betyder, at et produkts miljøbelastning i alle faser af produktets livscyklus opgøres eller sagt med andre ord en vugge til grav analyse af produktet. Det drejer sig altså om at opgøre de miljøbelastninger, der findes lige fra udvinding og bearbejdning af råstoffer, over transport af råstoffer, produktion og indbygning af de færdige produkter til selve brugsfasen og bortskaffelse, når produktet ikke længere kan anvendes.

Sagt med andre ord er det en opgørelse af produktets ressourceforbrug, sundhedsbelastning og miljøbelastning. Ressourceforbrug omfatter energiråstoffer, materialeråstoffer, vand og landskaber. Sundhedsbelastninger omfatter kemiske og biologiske belastninger, såsom allergi, kræftrisiko, indeklima m.m, fysiske belastninger, samt psykiske belastninger. Miljøbelastninger omfatter de globale, regionale og lokale belastninger.

Renere teknologi, som også er et af de nye miljøord, er et udtryk for en forebyggende strategi, som indebærer, at der til stadighed sigtes mod at reducere et givet produkts ressourceforbrug, sundheds- og miljøbelastninger i alle de processer, der knytter sig til produktets livsforløb. Den forebyggende indsats sigter især på at fremme anvendelsen af renere teknologi allerede i forbindelse med produktudviklingen.

Miljøvurderinger betyder, at effekten på miljøet af de belastninger, der er forbundet med produktion og anvendelse af et enkelt produkt i hele dets levetid, skal vurderes. Effekterne kan opdeles i tre grupper nemlig de globale effekter, de regionale effekter og de lokale effekter.

Som eksempler på de <u>globale effekter</u> kan nævnes drivhuseffekten og nedbrydningen af ozonlaget. Her skal det således vurderes, hvor stor en miljøbelastning produktet bidrager med ved emission af CO_2 fra energiforbruget og CFC-gasser fra brug af f.eks. PUR-skum.

Med de <u>regionale effekter</u> tænkes på miljøbelastninger i f.eks Skandinavien eller Nordeuropa, og som eksempel herpå kan nævnes syreregn, hvor forsuringen opstår ved kulforbrænding på kraftværker.

Som eksempel på de <u>lokale effekter</u>, der henregnes til belastninger på nærmiljøet, kan nævnes røg, støj, lugt, giftige udslip i vandløb og åer, arbejdsmiljø og arealforbrug, dvs. virksomhedens brug af plads.

Det er et politisk spørgsmål at vurdere hvilke påvirkninger, der giver den største miljøbelastning. Er det værst at påvirke ozonlaget, så befolkningen bliver hurtigere brun, og får en større risiko for hudkræft, eller er det værre at påvirke det lokale vandløb, så der ikke kan leve ørreder, som befolkningen gerne vil fiske? Det er særdeles vanskeligt at opgøre et produkts samlede miljøbelastning. Hvordan lægger man en øget risiko for at få hudkræft sammen med en reduktion af den lokale ørredbestand?

Det afgørende for et produkts samlede miljøbelastning er derfor de politiske retningslinier og eksperternes vurdering af, hvor alvorlige forskellige effekter er for miljøet.

Betons livscyklus

Miljøstyrelsens projekt skal skabe et overblik over betonbranchens samlede miljøbelastninger, påpege områder, hvor der er en mulighed for at reducere belastningerne, etablere en livscyklusmodel, og gennemføre en analyse af fire forskellige betonprodukter. Som en hjælp hertil, skal der foretages en miljømæssig gennemgang af fire udvalgte pilotvirksomheder, en fra hver af følgende fire brancher: Betonelementbranchen, letbetonelementbranchen, betonvarebranchen og fabriksbetonbranchen. De fire pilotvirksomheder skal alle være langt fremme med miljømæssige foranstaltninger og i front med produktionsteknik og udstyr.

Indvirkningen på miljøet ved betonfremstilling starter naturligvis allerede ved udgravning af tilslagsmaterialer og fremstilling af cement, ligesom byggepladsarbejdet og, forhåbentlig mange år senere, nedrivningsentreprisen også skal medregnes i et "grønt regnskab" for beton. - Et grønt regnskab, der gerne skulle vise, at beton i en totalbetragtning er et miljørigtigt og dermed ressourcebesparende produkt sammenlignet med andre byggematerialer.

Betons livscyklusanalyse kan beskrives med følgende overordnede elementer:

- råvarer
- produktion af beton
- støbning af betonprodukter
- indbygning i konstruktioner
- brugsfase
- nedrivning
- genbrug eller deponering

I det følgende er der givet nogle eksempler indenfor hvert enkelt element.

Råvarer omhandler alle delmaterialer fra cement over flyveaske og mikrosilica til sand, sten og letklinker samt tilsætningsstoffer og armering. For cementens vedkommende drejer det sig om brug af materialeressourcer og arealforbrug ved udvinding af bl.a. kridt og ler, energiforbrug ved brænding og maling af klinker etc. For f.eks. sømateri-

alers vedkommende drejer det sig om energiforbruget ved sejlads og oppumpning, anvendelse af knappe ressourcer, evt. belastning af fiskeområder, støj og støv ved sortering og knusning osv.

Efter produktionen af hver enkelt råvare skal denne transporteres til betonproducenten. Her skal bl.a. støjbelastning og energiforbrug vurderes. Det næste punkt er aflæsning og oplagring af delmaterialerne. Herved er der forbundet nogle miljøbelastninger såsom støv og støj.

Produktion af beton skal vurderes ud fra sammensætningen af betonproduktet, spild, rengøring af materiel mv. Støv og støjbelastningen, samt sundhedsbelastningen forbundet med produktion af beton skal ligeledes indgå i analysen.

Nu er betonen produceret, og der skal så **støbes** nogle **betonprodukter**. Betonen kan transporteres internt på produktionsstedet til en form, hvor den udstøbes, vibreres, hærder, afformes og efterbehandles. Her er det nødvendigt at kortlægge belastninger på arbejdsmiljøet, forbrug af hjælperåstoffer som f.eks formolie og curingprodukter samt energiforbruget knyttet til de enkelte delprocesser. Først herefter foretages der en transport til en byggeplads og en **indbygning i konstruktionen**. Den anden mulighed er, at den friske beton transporteres direkte til en byggeplads, hvor det så indbygges i konstruktionen. Her er det igen miljøbelastningerne ved de enkelte delprocesser i indbygningen, der skal kortlægges. Dertil skal transporten af produktet hvad enten det er fabriksbeton eller betonrør eller elementer kortlægges.

Når byggeriet er opført og står klar til **brug**, er der måske foretaget en malebehandling af betonen, hvis det er en væg i et boligbyggeri eller, der er foretaget en fugtisolering af et brodæk. Disse forhold skal også afklares sammen med en række andre forhold. På samme måde skal den vedligeholdelse, der sker i bygværkets levetid analyseres. Det er således også en nødvendighed at foretage et kvalificeret gæt på byggeriets levetid.

Belastningen ved **nedrivningen** skal også vurderes. Hvor meget støjer og støver det og, hvilke energimængder er der forbundet hermed. Dernæst skal der foretages en vurdering af, om betonen kan **genanvendes**, dvs kan den sorteres, nedknuses og genanvendes som f.eks stabilgrus under vejbelægninger eller, skal den **deponeres** på en losseplads.

For at kunne foretage en samlet livscyklusanalyse af et betonprodukt skal alle disse forhold belyses, kortlægges og så vidt muligt talsættes. Dette foretages dels ved gennemgangen af fire pilotvirksomheder, og dels ved efterfølgende at analysere udvalgte dele af processer hos underleverandører, entreprenører, brugere og nedbrydere. Når modellen er opstillet og afprøvet på fire forskellige betonprodukter, så findes værktøjet for den enkelte producent til at foretage en miljøvurdering af et betonprodukt. Betonproducenten får således mulighed for at dokumentere og sætte tal på, hvordan lige netop hans produkt belaster miljøet. Og dette vil blive en af fremtidens konkurrenceparametre!

Miljøbelastninger hos betonproducenten

En mindre, men dog vigtig del af denne livscyklusbetragtning er henlagt til fabriksbetonværket under selve betonfremstillingen. Her kan producenten selv medvirke til at nedbringe ressourceforbruget, mindske udslip til omgivelserne, og sikre medarbejdernes arbejdsforhold - og altså dermed på en indirekte måde medvirke til at højne betons image.

Forholdene på betonfabrikkerne er nemlig allerede generelt gode, da branchen i årenes løb af ofte andre grunde HAR investeret i moderne teknik og overvågnings/-styringssystemer. Det kan derfor nu betale sig at fokusere på de små forbedringer, der altid kan foretages, for derefter at udnytte forspringet, og fremstå som en forudseende branche miljømæssigt set.

Lad os derfor her alene betragte aktiviteterne på betonværkets eget område. Miljøbelastningen på fabriksområdet kan typisk inddeles i 3 typer, nemlig:

- sikkerhed og sundhed (medarbejderne)
- emissioner til omgivelserne ("røg, støj, møg")
- energi- og materialeforbrug (samfundsressourcer)

Der er naturligvis sammenhænge og overlapninger emnerne imellem, hvor f.eks. forskellig teknologi vil give forskelle i energiforbrug og udslip til omgivelserne, hvilket typisk vil influere på sikkerhed og sundhed for medarbejdere og omkringboende.

Det er i skrivende stund meget svært at angive mængder og niveauer for emissioner og affald fra betonværker generelt. Disse talværdier skal netop fremkomme ved egentlige miljøanalyser af virksomheder, som det vil ske i Miljøstyrelsens projekt. Dog kan arten af udslip og affald beskrives præcist uden gennemførelse af større projektarbejder.

Det typiske betonværk belaster miljøet på følgende punkter:

- råvarehåndtering
- fremstillingsproces
- færdigvarer
- spild
- energiforbrug

Råvarehåndtering

Tilslagsmaterialer giver støvproblemer ved aflæsning/oplagring og evt. senere flytning med læssemaskine. Ved at minimere antallet af lagerbunker på pladsen og dermed også den "interne" flytning, samt ved hensigtsmæssig udformning af materialebåse, grube og ophalerbånd kan meget støv undgås. Samtidig bør tilkørselsvej og materiale-

plads alene a.h.t. støv have fast underlag (f.eks. af beton!).

Støjniveauet ved materialeaflæsning og brug af læssemaskine kan være irriterende højt, specielt for omkringboende, der ingen indflydelse har på tidspunkt og varighed af støjen. Igen kan mange problemer løses ved hensigtsmæssigt design af fabriksområde og omgivelser, samt ved minimering af tomgangskørsel med biler og grej.

Øvrige materialer ankommer normalt til betonværket i lukkede transporter, og omlades ikke i større omfang internt på værket. Cement og flyveaske blæses direkte fra bil til lukket silo (hvor silofiltrene naturligvis skal virke). Udslip sker ikke så længe filtre, spjæld og tilslutninger fungerer som tilsigtet. Betonadditiver leveres i dunke, tromler eller pumpet i værkets egne tanke. Håndteringen her sker i værkets additivrum, der bør være sikret mod udslip i tilfælde af lækkende beholdere.

Fremstillingsproces

Under selve betonfremstillingen er det igen støv- og støjproblemer, der er de væsentligste. Afvejningen af delmaterialer og transport af disse via bånd, forsilo/hejsespand til aflæsning i blander sker i mere eller mindre lukkede systemer afhængig af det enkelte værks udformning og alder. Da afvejning sker indendørs, vil støv og støj være ekstra generende for medarbejderne her. Afvejning og tilsætning af cement finder normalt sted i systemer, der kan betegnes som lukkede. Dog vil der altid ske støvudslip fra cement og tilslag ved materialernes aflæsning i blandemaskinen. Her kan et fornuftigt udformet udsugningssystem dog fjerne støvet ved kilden.

Idag er blandemester og øvrigt personale placeret væk fra blandeværket, da det ikke længere er nødvendigt at "sidde på" blanderen for at følge blandeprocessen. Herved er personalets sikkerheds- og sundhedstilstand utvivlsomt forbedret markant.

Ved egentlige uheld i produktionen, hvor rør, slanger, spjæld eller lignende bryder sammen, kan større udslip af materialer (f.eks. cement) finde sted. Personalet er så nødt til at handle resolut, da kunderne ofte ikke har forståelse for længerevarende driftstop. I sådanne tilfælde er det vigtigt, at de rigtige personlige værnemidler er nemt tilgængelige, så personalet ikke af hensyn til kundeservicen fristes til at påtage sig sundhedsskadelige opgaver. Desuden er det selvfølgelig væsentligt, at alt materiel vedligeholdes, således at disse situationer minimeres.

Færdigvarer

Den færdigblandede betons pH-værdi gør, at hudkontakt skal undgås, hvilket udformningen af biler og slidsker/bånd m.v. tager højde for. Af hensyn til kunderne anvendes en advarende tekst på følgesedlerne i stor udstrækning, selv om der ikke er krav herom.

Spild

Overskudsbeton, der returnerer fra byggepladsen kan i enkelte tilfælde nedklassificeres, og dermed anvendes igen som del af et efterfølgende læs af en svagere/lavere rangerende betontype. Dette forudsætter naturligvis, at returbetonen ikke herved bliver for gammel. I en tid med lav aktivitet i branchen er dette tidskrav dog ofte udslagsgivende. Kasseres betonen, kan den efter afbinding deponeres som ikke-farligt affald, selv om dette indebærer ekstra transport og ekstra udgifter (lossepladsafgift).

Vask af biler og blander betyder, at der på fabrikken anvendes store vandmængder. Efter afvaskning genanvendes dette vaskevand ofte efter udfældning i slambassin. Det udfældede er ud over sten og grus også rester af betonadditiver, indsmøringsolier fra bil og blander, samt vaskesæbe. Både af hensyn til genanvendelse af vand og af hensyn til evt. deponering af det bundfældede slam, skal forbruget af indsmøringsolier og sæbe altså holdes lavest muligt.

Recirkulering af vaskevandet efter udfældning af slam er den billigste genanvendelsesform, men anvendelse direkte i produktionen er også mulig. Enkelte producenter genanvender det bundfældede sten/grus-materiale i produktionen, hvorved affaldsmængderne naturligvis reduceres væsentligt.

Energiforbrug

Med hensyn til energiforbrug, der jo indgår som en væsentlig del af et grønt regnskab, er det indlysende, at omladning og intern transport af materialer skal minimeres, ligesom al tomgangskørsel er "energispild". Bland de "mange bække små" skal nævnes bilernes og maskineriets vedligeholdelsestilstand. Generelt gælder, at nyt maskineri bruger mindre energi end ældre modeller, og at godt vedligeholdt grej bruger mindre energi end det tilsvarende dårligt vedligeholdte.

Fabriksbetonbranchens miljøhandlingsplan

Af det foregående fremgår, at det bør være relativt let for branchen at slå på miljøaspekterne både ved produktion og ved selve produktet i bestræbelserne på at bedre betonens image i befolkningen. Dansk Fabriksbetonforening har derfor bedt det nedsatte tekniske udvalg udarbejde forslag til en miljøhandlingsplan for fabriksbetonbranchen.

Da betonfremstilling som nævnt idag foregår med moderne styringssystemer på medlemmernes fabrikker, og da branchen i øjeblikket ofrer store beløb på indarbejdelse og certificering af kvalitetsstyringssystemer efter ISO 9002, er det naturligt, at der lægges et arbejde i at videreudvikle de indhøstede erfaringer med dette til også at omfatte miljøområdet.

Forslaget til miljøhandlingsplan vil derfor komme til at indeholde aktiviteter, der skal sigte mod:

1) At følge med i og påvirke standardiseringsarbejdet på miljøområdet.

2) At der arbejdes mod en miljøcertificering af producenterne på længere sigt. Dette skal søges sammenkædet med den igangværende certificering af kvalitetsstyringssystemer, sådan at miljøstyringen bliver en udbygning af kvalitetsstyringssystemets målsætning og procedurer.

3) At resultaterne af ovenstående punkter, samt udarbejdelsen af livscyklusanalyser for beton kan anvendes markedsføringsmæssigt. F.eks i form af miljødeklarationer.

Den endelig handlingsplan vedtages af foreningens bestyrelse i nær fremtid. De vedtagne aktiviteter skal herefter igangsættes hurtigst muligt, da udformning af reglerne for miljøcertificering i form af en europæisk miljøstandard allerede er overdraget den europæiske standardiseringsorganisation CEN.

Højgaard & Schultz a/s
Tobaksvejen 23
2860 Søborg

Arbejdsmiljøet og de nye (udenlandske) cementtyper

af

Per Fogh Jensen

Juli 1993

Indholdsfortegnelse **Side**

Indledning 31

Chromater 32

Arbejdstilsynets bekendtgørelse 34

Bestemmelse af chromatindhold DS 1020 36

Mærkningstilladelse, SBC 227/DS 427 37

Importerede cementer 38

Sammenfatning 39

Kilder 40

Arbejdsmiljøet og de nye (udenlandske) cementtyper

Indledning

Når der tales om miljø i relation til cement, falder tanken på arbejdsmiljø og risikoen for cromeksem ved hudkontakt med frisk beton.

Betonnormen DS 411, henviser til cementnormen DS 427. Ingen af de to normer beskæftiger sig med arbejdsmiljømæssige forhold.

Betonbeskrivelsen BBB skriver, at cement skal være i.h.t. DS 427, og at cementen skal opfylde særlige krav i.h.t. SBC 227 pkt. 4.4's øvrige krav, som bl.a. går ud på:

"Cementproduktets indhold af vandopløseligt chromat skal være mindre end 2 mg/kg cement. Målingen udføres som nævnt i DS 1020.

I slutningen af 1970'erne foretog nogle betonproducerende virksomheder chromatneutralisering (reduktion) ved tilsætning af ferrosulfat som additiv under betonens blandeproces.

I begyndelsen af 80'erne lancerede Aalborg Portland cementer chromatneutraliserede (reducerede), idet man tilsatte ferrosulfat under fremstillingen af cement. Denne måde at chromatneutralisere er søgt patenteret.

Chromat:

Chromat i cement er kendt som årsag til den såkaldte murereksem/-cementeksem hos personer med allergi overfor chromater. Allergien udvikles efter et langt arbejdsliv med megen hudkontakt til frisk beton.

Arbejdstilsynet udsendte i november 1978 en bekendtgørelse vedrørende "Vandopløseligt chromat i cement", som betød at:

> "Cement og ikke hærdede cementholdige produkter, hvor der findes mere vandopløseligt chromat end svarende til 2 mg/kg tør cement, må ikke anvendes. Mængden af vandopløseligt chromat bestemmes efter DS 1020, 1. udgave, 1984".

med adgang til:

> "Det er dog tilladt at anvende cement og ikke-hærdede cementholdige produkter i lukkede systemer, hvor de beskæftigede ikke kan komme i hudkontakt med materialet".

Chromater i cement (beton) kan reduceres til et lavere iltningstrin ved tilsætning af ferrosulfat, chrom udfældes i et basisk miljø som hydroxyd, uden at fremkalde eksem.

Virkningen af ferrosulfat afhænger af doseret mængde og risikoen for "falsk" iltning, hvilket kan opstå under lang tids lagring af cement.

Dosseringen af ferrosulfat er en balanceakt, idet der overdoseres i relation til den ønskede chrom neutralisation, men tilstrækkelig dossering a.h.t. lagringstid.

Der har været gennemført forsøg for at afklare disse sammenhænge, resultatet heraf er:

- tilsætning af små mængder ferrosulfat (0,1 - 0,2%) i forhold til cementen, giver stor reduktion af vandopløseligt chromat.
- dossering af ca. 1% ferrosulfat forsinker afbindingen med 2-3 timer.
- tilsætning af ferrosulfat til cement med efterfølgende lagring er en "stabil" metode.
- tilsætning som additiv i beton er en mulighed for chromatreduktion.
- dossering af ≥ 1% ferrosulfat kan medføre, at den tidlige styrke reduceres (ca. 14% ved 1 døgn).

Reduktion af chromatindholdet kan altså opnås ved tilsætning af ferrosulfat.

- i cementen.
- under blanding af beton.

Førstnævnte fremgangsmåde er i Danmark ikke en farbar vej p.g.a. patentrettigheder.

Arbejdstilsynets bekendtgørelse

Som tidligere refereret kom arbejdstilsynet med en bekendtgørelse om chromat i cement i 1983. Denne bekendtgørelse blev fulgt op af en meddelelse nr. 3.01.1 i 1986, der indeholdt en nærmere præcisering af vandopløselig chromat i cement med en uddybning af "forbud".

"Forbud"

Det er ikke tilladt at anvende:

- cement, hvis indhold af vandopløseligt chromat er større end 2 mg/kg tør cement.
- ikke-hærdede cementholdige produkter med et indhold af vandopløseligt chromat på mere end 2 mg/kg tør cement.
- cement eller ikke-hærdede cementholdige produkter, der ikke er forskriftsmæssigt mærket med oplysning om indholdet af vandopløseligt chromat.

Forbudet gælder både ved arbejde, der udføres af ansatte, og ved arbejde, der udføres af arbejdsgiver selv eller af selvstændige uden ansatte.

Undtaget fra forbudet er:

- Olieboringscement.
- Aluminatcement.
- Cement og ikke-hærdede cementholdige produkter i lukkede systemer, hvor der ikke er mulighed for at komme i berøring med materialet.

Heraf følger, at hvis der i et lukket system anvendes cement, der indeholder mere vandopløseligt chromat end 2 mg/kg, skal materialet, inden det forlader systemet, enten være hærdet eller tilsat tilstrækkeligt chromatnedsættende stoffer.

Chromatreduktion kan derfor normalt ikke foretages sundhedsmæssigt forsvarligt på en byggeplads.

Målet med bekendtgørelsen er selvfølgelig at skabe et sikkert arbejdsmiljø, men formuleringen om "lukkede systemer" og om, at "chromatneutraliseringen skal ske inden materialet forlader systemet", har givet anledning til, at nogle mener:

- at kun cement, der er chromatneutraliseret, må anvendes (patentsituationen).

- at chromneutralisering af den friske beton er en fuldt ud accepteret arbejdsmiljømæssig fremgangsmåde.

Sidstnævnte metode kan dog ikke opfylde kravene i SBC 227 til prøvemetoden DS 1020.

Bestemmelse af chromatindhold DS 1020

DS 1020 fra juli 1984 opstiller en metode til bestemmelse af vandopløseligt chromat i cement.

"Metodens princip

Cementen udludes med vand og filtreres. En del af filtratet tilsættes s-diphenylcarbazid, som sammen med chromat i sur væske danner et rød-violet kompleks med absorbtionsmaksimum ved 540 nm. Farven af komplekset målet fotometrisk og omsættes til indhold af vandopløseligt chromat ved hjælp af kalibreringskurve."

Referencen til SBC 227 stiller krav til bestemmelse på cement. Det vil sige, at der er et formelt problem, hvis der anvendes cementer, hvor neutraliseringen sker i den friske beton, og et praktisk problem, idet der ikke findes nogen DS for bestemmelse af chromatindhold i beton.

Det kan give anledning til nogle overvejelser, måske især også fordi arbejdstilsynet bekendtgørelser også vedrører vandopløseligt chromat i cement.

Mærkningstilladelse, SBC 227/DS 427

SBC 277 angiver Særlige Bestemmelser for Certificering af overensstemmelse med DS 427, Portlandcement og Portland flyveaskecement. ISBC 277, pkt. 4.4 anføres krav til øvrige egenskaber, - tidligere omtalt, bl.a. et krav til vandopløseligt chromatindhold på max. 2 mg/kg cement.

De danske cementers mærkning og certificering er beskrevet andet sted i publikationen. Importerede cementer oppebærer en mærkningstilladelse, baseret på, at cementprøver udtages på produktionsstedet. Cementerne er på det tidspunkt ikke chromatneutraliseret.

Mærkningstilladelse overvåges af DTI-cementkontrollen.

Importerede cementer

Der importeres flere typer cement til det danske marked. Tre af de største importører er:

Mørch Cement A/S, importerer > 100.000 t/år fra Grækenland - Herakles, som producerer > 5 mill. t/år. Cementen distribueres til hele landet fra siloanlæg i Åbenrå.

Cementen er mærket PC (R/MS/LA/G), og Mørch Cement A/S har mærkningstilladelse på betontilsætningsstof "Mørch Ferro 37".

Der knytter sig en anvisning til anvendelsen af Ferro 37 for at opnå chromatneutralisering. Mørch Cement A/S leverer tilsætningsstof, og er behjælpelig med dosseringsanlæg og instruktion i hvorledes der chromatneutraliseres i beton.

Randers Cement, importerer ca. 60-80.000 t/år fra den spanske fabrik Uniland med årlig produktion på ca. 4. mill/t.

Cementen er mærket PC (R/MS/MA/G) og dækker 2 typer cement "UNI 1 og UNI 2", hvor UNI 1 har ca. 50% højere 1 døgnstyrke.

Randers Cement oplyser, at chromatneutralisering alene er kundens ansvar. Distribution sker fra Randers hovedsagelig til Jylland.

Dancem, importerer ca. 40-45.000 t/år fra den engelske cementproducerede Rugby Cement, som årligt producerer > 5. mill t.

Cementen er mærket PC (R/MS/MA/G).

Cementen distribueres primært på Sjælland fra et siloanlæg i Korsør. Når cementen blæses fra silo til cementbil, doseres tilsætningsstoffet "K7". Dancem ønsker ikke at oplyse, hvori tilsætningsstoffet består, men oplyser, at bestemmelse af vandopløselige chromater i.h.t. DS 1020 viser et indhold på < 2mg/kg cement.

DS 1020 anfører, at tilstedeværelse af sulfider vil resultere i for lavt målte værdier for vandopløseligt chromat.

Sammenfatning

Importerede cementer oppebærer en markedsandel på over 15% af den indenlandske produktion. Cementerne importeres fra stor udenlandske producenter, men grundet spørgsmål om patentrettigheder og tolkning af arbejdstilsynets bekendtgørelser, får man af og til indtryk af, at det er den importerede cement, der er noget i vejen med.

For forbrugeren er det selvfølgeligt nødvendigt at overholde gældende regler i relation til arbejdsmiljø, og kan det gøres via chromatneutralisering af beton, hvilket jo blev gjort i 70'ene. Derfor bør prøvemetode og arbejdstilsynets bekendtgørelse tage højde for dette.

For forbrugeren er det et spørgsmål om den rigtige cementkvalitet til lavest mulig pris. Cementen belaster jo betonprisen med 40-50%.

Kilder

Titel:	Forfatter:
Chrom i cement:	Nordisk Beton 6-1977 Marianne H. Lund
"Vandopløseligt chromat i cement, nov. 1983"	
"Chromat i cement, feb. 1986".	Arbejdstilsynets bekendtgørelser:
Vandopløseligt chromat.	DS 1020, juli 1984.
Certificeringsordning for Portlandcement og Portland Flyveaskecement.	SBC 228, september 1985.
DS 411, 1984.	4 oplag, august 1991.
BBB marts 1987.	

Importører af cement:

- Mørch Cement A/S
- Randers Cement.
- Dancem.

Aalborg Portland/CtO
Postboks 165
9100 Aalborg
Tlf. 99 33 77 47
Fax 98 10 11 86

Nye cementtyper og miljømæssige forhold omkring fremstilling og anvendelse af cement på det danske marked

af

Civilingeniør Chr. F. Justesen

Juli 1993

Nye cementtyper og miljømæssige forhold omkring fremstilling og anvendelse af cement på det danske marked

I dette indlæg redegøres for de miljømæssige aspekter ved produktion af cement i Danmark og ved anvendelse af dansk cement i byggeindustrien. Der skal specielt omtales de nye cementtyper, som Aalborg Portland introducerer i løbet af 1993.

De nye cementer

Aalborg Portland har udviklet en ny produktionsproces, som gør det muligt at producere en ny klinkertype på Aalborg Portlands store semitørre ovnanlæg. Processen er patenteret, og den nye klinkertype er karakteriseret ved et højere styrkepotentiale end for den hidtil producerede klinkertype. Sidstnævnte er produceret, siden ovnanlægget blev taget i brug i 1988. Årsagen til at styrkepotentialet er øget i den nye klinkertype er, at indholdet af det mest styrkegivende klinkermineral C_3S er gjort højere. En anden fordel ved den nye proces er, at klinkerbrændingen kan gennemføres ved en lavere temperatur end tidligere, hvilket gør processen mere energiøkonomisk. Fremover skal alle grå cementer bortset fra Lavalkali Sulfatbestandig Cement, baseres på de nye klinker.

Specialfremstillet mikrofiller. Udover at ovnanlægget producerer cementklinker, giver det også mulighed for udtag af en mikrofiller, som har vist sig at have særdeles gunstige virkninger sammen med formalede cementklinker. Der er tale om en filler, overvejende bestående af kalkpartikler. Finheden er betydeligt større end for de normale cementer, hvilket er en af årsagerne til den gunstige virkning.

Fillercementer. De nye klinker giver som nævnt højere styrker i cementen end de hidtidige klinker. Med styrker menes der her 28 døgns styrker for cementmørtelprismer prøvet efter den gældende EN 196-prøvningsmetode.

Det er imidlertid sådan, at ved en mindre tilsætning af den ovenfor omtalte mikrofiller stiger styrkerne yderligere. Ved tilsætning af 7-10% nås det maksimale niveau. Derefter falder niveauet, når der yderligere tilsættes filler. Ved 15% fås samme niveau som ved 0%. Dvs., at man ved 15% fillertilsætning kan producere en cement med samme styrkeegenskaber som med klinker alene. Men med de 15% filler opnås et langt mere konkurrence-

dygtigt produkt, da filleren er langt billigere at producere end klinkerne.

Øges fillermængden yderligere, når man ved 20-25% et styrkeniveau, der svarer til det, der gælder for Rapid-Cement i dag; men produceret en del mere økonomisk.

De to derved opnåede fillercementer (15% og 20-25% filler) har begge højere tidlig styrke end Rapid-Cement. De kan dermed begge, hvis man alene ser på styrkerne, erstatte Rapid-Cement inden for denne cementtypes markedsområder. Hertil hører betonelementområdet, som har brug for både høj, tidlig og høj, sen styrke. Man får med 15%-fillercementen, som er døbt Element-Cement, et konkurrencedygtigt alternativ til Rapid-Cement. Element-Cement giver nemlig højere styrker samtidig med lavere pris. Fabriksbetonområdet bruger til de fleste betoner Rapid-Cement. 20-25% fillercementen, som er døbt Basis-Cement, er med det højere fillerindhold noget billigere end Element-Cement. Med den får fabriksbetonbranchen, for hvilken hovedsagelig 28 døgns styrken har betydning, et særdeles konkurrencedygtigt alternativ til Rapid-Cement.

Endelig skal nævnes Aalborg Portlands allerede gennem 5 år markedsførte fillercement, Blok-Cement. Denne cements målgruppe er producenter af letklinkerbetonblokke og helvægge af letklinkerbeton. Til disse anvendelser er der behov for en 1 døgns styrke på ca. 70% af Rapid-Cements. Dette opnås med de nye klinker ved tilsætning af 30-35% mikrofiller og med et højt alkaliindhold.

Begrænsninger i anvendelse af fillercementer. I dag tillader den danske betonnorm, DS411, kun anvendelse af fillercementer i den såkaldte **passive** miljøklasse, dvs. et tørt indendørs miljø. Inden for bygningsområdet dækker dette dog ca. 70% af den samlede betonmængde. I de øvrige miljøklasser **moderat** (her er der frost uden tøsalte) og **aggressiv** (her er der frost med tøsalte) kan de nye fillercementer ikke umiddelbart anvendes. Under udviklingsarbejdet med de nye cementer på Cement- og Betonlaboratoriet har man foretaget frostprøvninger med både Basis-Cement og Element-Cement. Resultaterne herfra viser, at Basis-Cement kan klare frostprøvninger uden tøsalte, mens Element-Cement kan klare frostprøvninger både med og uden tøsalte.

Den danske betonnorm tillader, at man fraviger dens krav, hvis man kan dokumentere, at fravigelsen stadig giver en holdbar konstruktion.

Med henblik på at skaffe den nødvendige dokumentation, som naturligvis skal være uvildig (hvorfor Cement- og Betonlaboratoriets resultater ikke alene vil være tilstrækkelige), er der igangsat et større afprøvningsprogram på Betoncentret på Dansk Teknologisk Institut. Det forventes, at afprøvningsrapporten

herfra vil foreligge midt på efteråret 1993, således at Element-Cement derefter kan anvendes i alle miljøklasser, og Basis-Cement kan anvendes i passiv og moderat miljøklasse.

Danske eksportører af betonprodukter til Tyskland skal dokumentere, at den benyttede cement har en tysk godkendelse. I dag indgår fillercementer ikke i den tyske cementstandard, DIN 1164, og opnåelse af en anvendelsestilladelse kan tage 2-3 år. Imidlertid er man ved at udarbejde en ny tysk cementstandard, som også omfatter kalkfillercementer med op til 20% filler.

Dette betyder, at når den er sat i kraft, vil Element-Cement umiddelbart kunne opnå en DIN 1164 godkendelse. Det forventes, at den nye tyske cementstandard sættes i kraft i løbet af 1994. Herefter kan vore elementfabrikker uden videre eksportere betonelementer produceret med Element-Cement til Tyskland. Da der ikke eksporteres fabriksbeton, er der ikke behov for en tysk godkendelse af Basis-Cement.

Cementproduktion og miljøspørgsmål

Cement indgår som en væsentlig bestanddel i den fortsatte fornyelse og udvikling af vore samfundsbygninger og infrastrukturer af enhver art. Cement opfylder derfor et af det moderne samfunds basale behov. Endvidere kan fremstillingen af cement og anvendelsen af cement være med til at løse en række af samfundets miljømæssige problemer. Af disse grunde mener Aalborg Portland, at cementfremstilling er en positiv samfundsmæssig aktivitet også set ud fra en overordnet miljømæssig betragtning. Aalborg Portland har netop udsendt folderen "Aalborg Portlands holdning i miljømæssige spørgsmål", som vil være fremlagt på Betondagen og i øvrigt kan rekvireres hos dette indlægs forfatter. Her skal kort nævnes nogle af de områder, hvor cementproduktionen bidrager til løsning af samfundets miljømæssige problemer.

Alternative råmaterialer. Aalborg Portland genanvender store mængder alternative råmaterialer såsom flyveaske fra kraftværkerne og lignende. Uden denne genanvendelse ville de fleste af disse råmaterialer skulle deponeres.

Anvendelsen af de alternative råmaterialer sammen med anvendelsen af mineralske tilsætninger og filler betyder, at behovet for primære råmaterialer reduceres. Herved opnås også en formindskelse af det samlede energiforbrug og den samlede udledning af SO_2, NO_x, CO_2 og støv.

Alternativt brændsel. Mange produkter, der i dag klassificeres som affald, kan uden risiko anvendes som alternative brændsler i Aalborg Portlands cementovne. Ved at anvende disse produkter

som ovnbrændsel opfylder Aalborg Portland et samfundsmæssigt behov og reducerer de mængder af affald, som skal deponeres.

Et bestemt alternativt brændsel vil kun blive anvendt hvis

- anvendelsen er miljømæssig acceptabel under hensyntagen til indflydelsen fra miljøet, virksomhedsdriften, produktkvaliteten samt sundheden og sikkerheden for de ansatte og beboerne i de omgivende områder,

- anvendelsen af det pågældende brændsel er fordelagtigt under hensyntagen til de økonomiske forhold, lovmæssige begrænsninger og indflydelse på Aalborg Portlands image.

Aalborg Portland vil videreføre indsatsen for at genvinde så stor en del af en varme, som tabes i produktionen, ved at udbygge det eksisterende varmegenvindingsanlæg, som for tiden forsyner ca. 20.000 boliger i takt med, at det er teknisk og økonomisk muligt.

Forholdsregler ved omgang med cement

Cementeksem. Når cement blandes med vand dannes ved den kemiske reaktion bl.a. calciumhydroxid, som gør den fremkomne pasta stærkt basisk og dermed ætsende. Ved berøring med huden kan det give et irritativt eksem. Cement indeholder desuden normalt en vis mængde vandopløseligt kromat, som kan forårsage en allergi og give et allergisk kromeksem. Cementeksem er en kombination af et irritativt eksem og et allergisk kromeksem.

For 13 år siden blev cementeksem udråbt som den hyppigste erhvervsbetingede hudsygdom blandt mænd. Myndighederne, Murerforbundet og Aalborg Portland gik i aktion for at forebygge lidelsen. Det resulterede i, at Aalborg Portland i 1981 introducerede Anti-Kromeksem-Processen, som neutraliserer cementernes eksemfremkaldende kromater. Processen sikrer, at det vandopløselige kromatindhold i cementen er mindre end den af Arbejdstilsynet i bekendtgørelse nr. 661 (november 1983) krævede maksimumværdi på 2 mg pr. kg. cement. Det har betydet, at allergisk cementeksem i dag er så godt som udryddet. Man kunne derfor få det indtryk, at cementeksemproblemet er løst i Danmark. Men det er antagelig ikke tilfældet, for i dag kommer store mængder ikke-neutraliseret cement ind i Danmark. Om den beton, der fremstilles hermed er kromatneutraliseret, må stå hen i det uvisse. Under alle omstændigheder er det besværligt og fordyrende at neutralisere kromaten i betonblanderen. Der findes heller ikke kontrolmetoder, som hos betonproducenten kan sikre, at de mennesker, der kommer i kontakt med den friske beton, er beskyttet mod cementeksem. Det betyder, at den arbejdsmiljømæssige sik-

kerhed, der var forbundet med udelukkende at anvende kromat-neutraliseret cement, nu kan være sat over styr, og det kan ikke afvises, at tilfælde af allergisk cementeksem vil dukke op igen.

Omgang med cement og beton. Cement er et meget fint pulver, undgå derfor at transportere den på en måde, så den spredes. Undgå kontakt med hud og øjne og indånding af støv. Cement virker irriterende på hud og kan ved længere påvirkning virke ætsende. Brug beskyttelseshandsker. Cement virker ætsende i øjne. Øjeblikkelig skylning med vand er derfor nødvendig, hvis cementen kommer her. Ved risiko for støv i øjnene skal der bruges beskyttelsesbriller. Cement giver ikke silikose, men kan virke irriterende på luftvejene og medføre halsirritation og hoste. Ved støvende arbejde skal der anvendes godkendt åndedrætsværn, min. klasse P2 og evt. støvdragt.

Cement anvendes i beton og mørtel - det er tunge materialer. Tilrettelæg derfor arbejdet så det manuelle arbejde bliver mindst muligt. Brug gummihandsker under arbejdet med formolier, da formolier kan give hudirritation m.m. Formolier skal bruges rigtigt, dvs. på formsiderne og ingen andre steder. Betonen skal komprimeres, sommetider med kraftigt vibrationsbord, og det giver kraftig støj. Derfor, undgå høreskader - brug høreværn. Det er den friske beton, der giver ætsninger og eksem. Undgå derfor langvarig berøring med den friske beton.

Axel Nielsen · Carl Bro as
Vermehrensvej 14
5230 Odense M

Praktisk genbrug af beton

af Erik Bitsch Olsen
Civilingeniør

Juli 1993

Praktisk genbrug af beton

Beton med tilslag af knust byggeaffald har været anvendt lige så længe man har brugt beton som byggemateriale. Det er dog først i de seneste år man har interesseret sig for at genanvende beton som tilslag i beton.

I mange år var der ikke interessante mængder af betonaffald at bruge; siden var det let at slippe af med betonbrokker på lossepladser eller til opfyldning. Desuden opstod mængderne af affaldsbeton ikke geografisk samlet i så store mængder, at det kunne betale sig at etablere behandlingsanlæg, hvor betonaffaldet forekom.

Først da lossepladserne begyndte at fylde generende meget, gik man i gang med at overveje genanvendelse af beton - og i denne sammenhæng at genanvende beton i beton.

Omfang

Først skal kort resumeres nogle opgørelser over de mængder, der er tale om. Tallene er taget fra rapporter udarbejdet for Miljøstyrelsen.

I 1991 blev der fremstillet 7-8 mio. t beton til bygge- og anlægsarbejder [1]; heri er ikke medregnet beton til betonvarer. Samtidig er estimeret [2], at potentielle bygge- og affaldsmængder af stenmaterialer udgør ca. 3,7 mio. t; hvor stor en del betonen udgør heraf, er ikke opgjort. P.g.a. den lave byggeaktivitet i disse år med tilhørende lille omfang af nedrivninger, er de reelle affaldsmængder dog væsentlig lavere - måske kun 1/3 - så i øjeblikket er der en klar tilvækst i mængden af indbygget beton. Bliver der sat en cyklus i gang, hvor betonaffald recirkuleres og genanvendes i ny beton, skulle betonen kunne forsvinde ud af affaldsbelastningen.

Så let går det selvfølgelig ikke, og i hvert fald må man konstatere, at genbrug af beton i øjeblikket har et meget begrænset omfang - og her mener jeg til genanvendelse i ny beton.

Teknisk er der ikke grund til at holde sig tilbage - så der er nogle andre barrierer, som begrænser genanvendelse. I det føl-

gende vil jeg især se på den tekniske side, men også på alternativ anvendelse og økonomi, som påvirker omfanget af genanvendelse i beton.

Genbrug af beton

En rigtigere betegnelse for det jeg vil omtale er genvinding eller genanvendelse af beton. Genbrug omfatter kun genanvendelse (som er en fællesbetegnelse for genbrug, genvinding og videreudnyttelse) af beton til sit oprindelige formål og i sin oprindelige form.

Genbrug kunne f.eks. være indbygning af nogle betonvæg- eller dæk-elementer, som var taget hele ned i et andet byggeri. Dette er mig bekendt endnu ikke gjort i Danmark, men det kunne være en miljørigtig fremtidig mulighed.

Genvinding ved knusning giver derimod flere anvendte muligheder, f.eks. som grusmaterialer til fyld eller vejbygning, og som tilslag i ny beton.

Det er det sidste, der vil blive omtalt her, og beskrivelsen vil knytte sig til en aktuel projektcirkel, som omfatter:

- nedrivning af en motorvejsbro ved Nyborg
- knusning
- betonfremstilling til in-situ beton og elementer
- udstøbning og indbygning

Projektet er beskrevet i en rapport til Miljøministeriet, som i øjeblikket er under færdiggørelse af de ansvarlige deltagere i forsøgsprojektet for Miljøstyrelsen og A/S Storebæltsforbindelsen. Deltagerne er Demex A/S, Rådgivende ingeniører, Dansk Beton Teknik A/S og Axel Nielsen · Carl Bro as.

Som en væsentlig forudsætning for genvinding af beton i ny beton skal nævnes Dansk Betonforenings publikation nr. 34 udsendt i 1989: Anvisning for genanvendelsesmaterialer i beton til passiv miljøklasse [4]. Den stiller krav til materialerne og giver vejledende retningslinier for beregninger og udførelser. Her skal fremhæves et krav om, at fraktionen under 4 mm ikke må bruges som tilslag i beton. Det krav ser ud til at få stor indflydelse på, hvordan byggeaffald kan genanvendes.

Inden vi startede på forsøgsprojektet, havde vi erfaringer med et mindre tilsvarende forsøg i Odense, hvor genanvendelsescirklen viste, at udstøbningen og arbejdet på byggepladsen ikke gav problemer. Derfor blev der ikke lagt så stor vægt på udstøbningsaktiviteten i dette forsøg.

Her stammer materialet fra en bro, som blev opført i 1985, men som i forbindelse med Storebæltsbroens bygning ikke kunne indpasses i det nye anlæg. Af økonomiske grunde blev hovedparten nedknust og brugt som fyldmateriale i en brodæmning i umiddelbar nærhed af nedrivningsstedet.

Ca. 150 m³ blev behandlet til genanvendelse som tilslag i beton og indbygget i genbrugshuset Møllebrogården i Odense, samt brugt i skørtelementer i en støjvæg langs motorvejen nord for Nyborg tæt ved det sted, hvor den oprindelige bro lå.

Nedrivning

I forbindelse med nedrivning blev der udført:

- belastningsforsøg på motorvejsbroen. De er omtalt i [5].
- forsøg med forskellige nedrivningsmetoder.

Broen var en meget skævvinklet 2-fags pladebro af efterspændt beton, båret på støttevægge ved vederlagene og en række søjler i midten; lodrette konstruktionsdele var af slaptarmeret beton. Da broen var meget kraftigt armeret med både slap og spændarmering, var det ventet, at sprængning ville være den mest hensigtsmæssige nedrivningsmetode.

Inden nedrivningen startede, blev alt udstyr (rækværker, autoværn m.m.) og asfaltbelægninger fjernet.

Figur 1. Nedrivning af kraftigt armeret betonbro.

Nedrivningen var inddelt i en begrænset forsøgsnedrivning og en hovednedrivning. Forsøgsnedrivningen skulle bl.a. give grundlag for at undersøge forskelle i egenskaber hos materialer fra forskellige nedrivningsmetoder, samt beskrive påvirkningen herfra på den resterende konstruktion (erfaringer, som kan bruges ved renovering af broer).

Ved forsøgsnedrivningen blev ca. 50 m³ demoleret ved henholdsvis sprængning , hydraulisk hammer og kran og kugle; desuden blev dele af kantbjælkerne fjernet med ekspanderende mørtel. Det er materiale fra disse forsøg, som er videreforarbejdet til tilslag i beton, og materialerne fra de 3 første nedrivningsmetoder blev holdt adskilt frem til udstøbningen.

Efter gennemførelsen af forsøgene valgte entreprenøren at rive resten af broen ned v.h.a. hydrauliske hamre monteret på gravemaskiner samt - til søjler og de frigravede vægge - kraner med kugle. Nedrivningen blev gennemført i h.t. en plan for rækkefølgen i fremdrift, og forløb i det store hele normalt.

Som afslutning på nedrivningen blev hovedparten af armeringen sorteret fra v.h.a. en crusher monteret på en hydraulisk gravemaskine. Samtidig blev brokkerne neddelt til en håndterlig størrelse.

Knusning og sortering

Nedrivningsentreprisen omfattede også knusning og sortering.

I udbudsmaterialet var stillet krav til kornkurver for henholdsvis fyldmaterialet og tilslagsmateriale. Bl.a. var der krav om, at den ikke-genanvendelige 0 - 4 mm fraktion i tilslagsmaterialet var mindre end 25%.

Knusningen blev foretaget i 2 trin, som det er normalt på Fyn, idet primærknuseren var opstillet på nedrivningsstedet og fremstillede materialer til fyld; her var kravet en max. kornstørrelse på 100 mm.

Den del som skulle anvendes i beton, blev viderebehandlet på det permanente knuseanlæg i Fjelsted, som også forarbejder det normale nedrivningsmateriale på Fyn.

Her blev hver materialetype (fra de 3 nedrivningsmetoder) sorteret i fraktionerne: 0-4 mm (sprængning dog 0-2 mm, 2-4 mm), 4-16 mm og 16-32 mm. Desuden blev der gennemført en omfattende materialekontrol. Den viste, at efter knusning og sortering var der <u>ingen forskel</u> i materialekvaliteterne og kornkurverne fra de 3 nedrivningsmetoder.

Samlet var kornfordelingen:

Fraktion	Mængder i tons	Fordelingstal i %
0 - 4 mm	152	40
4 - 16 mm	118	31
16 - 32 mm	105	28

Kravet om, at 0 - 4 mm fraktionen skal være under 25%, er altså ikke opfyldt.

Undersøgte materialeegenskaber

Kornstørrelsesfordeling:

Udover ovennævnte fordeling blev det konstateret, at vedhæftningen af underkorn mindre end 4 mm var 2-3%; d.v.s. at et stillet krav om, at den skulle være mindre end 5%, var opfyldt.

Kornform:

For alle tre materialetyper lå vægtprocentandelen af kubiske korn på over 90%, og materialets kornform er derfor velegnet til kvalitetsbeton.

Vandabsorption:

Nedknust betons vandabsorptionsevne er højere end vandabsorptionsevnen for naturlige tilslagsmaterialer. Dette skyldes, at mørtelandelen af de nedknuste materialer er porøs og dermed har en høj absorptionsevne.

På grund af den ru/poröse overflade er det vanskeligt - ved hjælp af den standardiserede metode beskrevet i DS 405.2 - at afgøre, hvornår materialet netop er i vandmættet overfladetør tilstand. DS 405.2 er ikke velegnet til bestemmelse af nedknust byggeaffalds vandabsorptionsevne.

Dansk Beton Teknik as, som har forestået undersøgelserne af materialernes egenskaber, foreslår, at den vandmættede overfladetørre tilstand af det nedknuste materiale bestemmes ud fra materialets desorptionsisoterm (I.R. metoden, se [6]). Denne metode giver ifølge [6] en langt mere pålidelig bestemmelse af den vandmættede overfladetørre tilstand for nedknust beton, og dermed en mere korrekt værdi for materialets absorptionsevne.

Eftersom I.R. metoden ikke er standardiseret, angives absorptionsværdierne bestemt ved hjælp af både DS 405.2 og I. R. metoden. Absorptionsværdierne bestemt ved hjælp af I. R. metoden anvendes ved beregning af den nedknuste betons densitet, samt ved proportionering af vejledende betonsammensætninger.

Fraktion	Vandabsorption i % bestemt i h.t.	
	DS 405.2	I.R.
4 - 16	4,2 - 4,9	2,4 - 2,6
16 - 32	5,3 - 5,7	1,8 - 3,4

Absorptionsværdierne bestemt ved hjælp af DS 405.2 ligger væsentligt højere end værdierne bestemt ved I.R. metoden, og over værdierne for traditionelt tilslag. Derfor bør nedknuste materialer have lejlighed til at blive vandmættede ved blandeprocessen.

Densitet:

Det nedknuste materiales densitet er bestemt i h.t. DS 405.2, idet dog vandindholdet i vandmættet overfladetør (VOT) tilstand er bestemt på grundlag af de forannævnte I.R. absorptionsværdier.

Fraktion	Tørdensitet kg/m³	Densitet: VOT kg/m³
4 - 16	2420 - 2450	2480 - 2510
16 - 32	2370 - 2450	2450 - 2500

Der er ikke lavet undersøgelser for lette korn, idet materialet p.g.a. erfaringer fra tidligere forsøg bedømmes til let at opfylde krav i DBF's anvisning.

Til gengæld nævner undersøgelsesrapporten [7], at det nedknuste materiale næppe opfylder Basisbetonbeskrivelsens krav til tilslag til beton i moderat og aggressiv miljøklasse. Disse krav er, at lettere korn under 2400 kg/m³ (VOT) maksimalt må udgøre henholdsvis 5% og 1%.

Revner:

Der er lavet tyndslibobservationer vedr. revner i fraktionerne større end 4 mm. Her er fundet nogle revner i cementpastaen, som formentlig stammer fra knusningen.

Betonsammensætning

Som vejledning for betonleverandørerne i de projekter, hvor det nedknuste materiale senere anvendes, er udført prøveblandinger med tilstræbte karakteristiske styrker på henholdsvis 20 og 35 MPa.

For hver styrkeklasse er udført en blanding henholdsvis med og uden anvendelse af den nedknuste fraktion 0 - 4 mm.

Blanding nr.	**1**	**2**	**3**	**4**
Cement	344	344	389	389
Søsand 0-4 mm	656	-	665	-
Nedknust 0-4 mm	-	633	-	642
Nedknust 4-16 mm	541	523	549	530
Nedknust 16-32 mm	442	427	449	433
Vand	165	165	137	137
Luftindblanding	0,3	0,3	0,3	0,3
SPT	-	-	4,5	4,5
Trykstyrke - 28 døgn. MPa	30,9	35,0	40,6	45,1

Figur 2. Betonsammensætning med tilhørende trykstyrker. Ubenævnte tal er kg/m³.

De angivne mængder i figur 2 er baseret på, at tilslaget er i våd overfladetør tilstand - som for de nedknuste materialer er bestemt i h.t. I. R. metoden (se ovenfor i afsnittet: Undersøgte materialeegenskaber).

De opnåede trykstyrker svarer til proportioneringsstyrkerne. Styrkerne for de blandinger, hvori 0-4 mm fraktionen er nedknust beton, er højere end i blandinger med søsand. Dette kan næppe forventes generelt at være tilfældet, og prøvningsrapporten konkluderer, at det evt. kan skyldes usikkerhed ved bestemmelse af vandabsorptionen for den fine fraktion af nedknust beton.

Desuden anføres, at bearbejdeligheden af betonen forringes mærkbart, når den nedknuste 0-4 mm fraktion anvendes.

Genanvendelse

Det nedknuste beton fra motorvejsbroen er genanvendt i 2 projekter:

1. Møllebrogård i Odense.
2. Som skørtelementer ved jordoverfladen i en støjskærm langs motorvejen ved Nyborg.

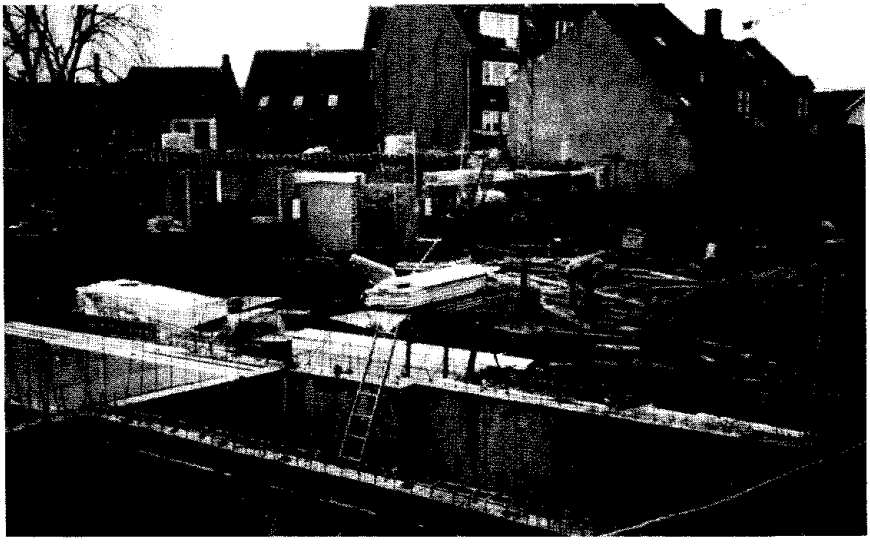
1. Møllebrogården

Møllebrogården er en ny boligblok med almennyttige lejligheder i Carlsgade, Odense. Den er udført som et demonstrationsprojekt for genanvendelse, idet en lang række bygningsdele: beton, kapillarbrydende lag, murværk, trækonstruktioner, tagdækning og døre, vinduer og fast inventar er udført af materialer fra andre nedrevne bygninger og anlægskonstruktioner.

Materialet fra motorvejsbroen indgår sammen med materiale fra en bunker, som måtte fjernes fra byggegrunden i Odense, som betontilslag i 2 betonkvaliteter i passiv miljøklasse. Beton 30, som er anvendt i konstruktioner omkring et sikringsrum og et offentligt beskyttelsesrum; beton 20, som anvendes i in-situ støbte etagedæk over beboelses- og normale kælderrum.

Betonleverandøren har ikke brugt de vejledende betonrecepter, men blot erstattet de traditionelle stentilslag i standardrecepterne med knust beton og alligevel opnået de nødvendige styrker. Standardrecepterne indeholdt rapidcement, flyveaske og mikrosilica i følgende mængder:

	Cement kg/m³	**Flyveaske kg/m³**	**Mikrosilica kg/m³**
Beton 30	216	25	14
Beton 20	160	44	11



Figur 3. Støbning af kældervægge med genanvendelsestilslag.

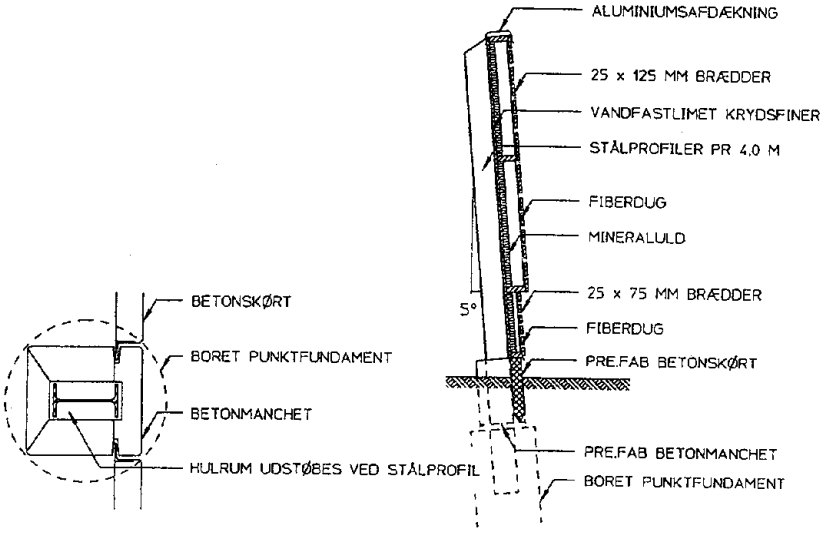
Om anvendelse af knust beton er bl.a. noteret i forsøgsrapporten:

- Statiske beregninger er udført i henhold til Dansk Ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner, DS 411, samt Dansk Betonforenings publikation nr. 34.

- Betonproducentens konklusion vedr. forsøget er, at det har været "en positiv oplevelse" at anvende knust byggeaffald. Da det er et enkeltstående forsøg, har det givet nogle - også økonomiske belastende - gener i den daglige produktion, bl.a. fordi der måtte reserveres ibrugværende tilslagsiloer specielt til det knuste betonmateriale, ligesom blandeanlæg og betonkanoner er rengjort ekstraordinært efter levering af beton med genanvendelsestilslag.
  Når der etableres en kontinuert produktion af beton med knuste genanvendelsesmaterialer, vil disse gener forsvinde sammen med de ekstraordinære udgifter til forprøvning og kontrol.

- Udstøbningen på pladsen forløb - i lighed med erfaringer fra andre demonstrationsprojekter - normalt, idet entreprenøren gav udtryk for, at bearbejdeligheden af betonen ikke adskilte sig fra normal beton.

2. Støjskærm



PLANUDSNIT VED STÅLPROFILER PRINCIPSNIT I STØJSKÆRM

Figur 4. Principskitse af støjskærm.

Til den ca. 1,5 km lange skærm er brugt 360 præfabrikerede betonskørtelementer; ca. 40 forsøgselementer er støbt med tilslag af knust beton fra motorvejsbroen. Arbejdet er budt ud i licitation på grundlag af bygherrens, Vejdirektoratets, standardmateriale.

På grund af støjskærmens placering, udendørs og tæt ved en trafikeret motorvej, anbringes konstruktionen i et aggressivt miljø, hvilket medfører, at det er krav til betonens tæthed og ikke til dens styrke, som er bestemmende for blandereceptet. Her er anvendelsen altså uden for gyldighedsområdet for DBF's anvisning.

Figur 5 summerer nøgledata for de 4 anvendte betonblandinger.

	Standard-beton	**Forsøgs-beton 1**	**Forsøgs-beton 2**	**Forsøgs-beton 3**
Ækv. cementindh.	385 kg/m³	407 kg/m³	392 kg/m³	407 kg/m³
Eff. vandindh.	143 kg/m³	154 kg/m³	154 kg/m³	154 kg/m³
Ækv. V/C-forh.	0,372	0,379	0,394	0,379
Sand 0/4	Bakkesand	Bakkesand	Bakkesand	Bakkesand
Sten 2/4		Genknus	Genknus	
Sten 4/8	St.granit		St.granit	
Sten 4/16		Genknus		Genknus
Sten 8/16	St.granit		St.granit	
Sten 16/32		Genknus		Genknus

Figur 5. Blanderecepter for standardbetonen og for de 3 prøveblandinger.

Prøvningsresultater:

For hver af ovennævnte blandinger er udført både makro- og mikroanalyser på kerner udboret af prøvestøbninger.

Makroanalysen betegner samtlige prøver som pæn og homogen beton, dog indeholder forsøgsbeton 1 noget indkapslet luft fordelt i hele kernen.

Mikroanalysen betegner samtlige prøver som beton med lavt defektomfang. Dog bemærkes,at den knuste beton stedvis er karbonatiseret, gennemvævet af fine revner og mikrorevner, og har et varieret kapillarporesystem. Der er ikke observeret alkalikiselreaktioner ved tilslaget i den knuste beton.

For at indhente erfaringer for, hvordan beton med tilslag af knust betonaffald klarer aggressive påvirkninger, vil forsøgselementerne løbende blive inspiceret, og periodevis vil der blive foretaget analyser af udborede kerner.

Inden montage er udboret 4 kerner, en fra et standardbetonelement og tre fra elementer fremstillet af forsøgsbeton. Disse kerner opbevares som reference for de senere undersøgelser.

Genanvendelse af beton

Som det fremgår af det beskrevne eksempel og andre tilsvarende projekter, er knust beton et godt materiale, som uden tekniske problemer kan anvendes som tilslag i beton til passiv miljøklasse, når kravene til renhed i DBF's anvisning er opfyldt. Kun den større absorptionskoefficient i f.t. traditionelle tilslag skal man være opmærksom på.

Vil man anvende knust beton i moderat og aggressiv miljøklasse, skal der foretages mere omfattende undersøgelse af det konkrete materiale, og betonsammensætningen skal tilpasses.

Det sidste vil sikkert kun blive aktuelt i specielle projekter, hvor en eksisterende større betonkonstruktion i moderat/aggressiv miljøklasse skal udskiftes med en ny, og hvor nedknusning kan ske på stedet. Sparede transportomkostninger og miljøbelastninger kan her gøre det fordelagtigt at gennemføre de nødvendige tilpasninger.

Iøvrigt er forbruget af beton til indbygning i passiv miljøklasse tilstrækkelig stort til, at stenfraktionen i alt bygningsaffald efter knusning kan bruges som tilslag her.

Økonomien for genanvendelse i beton - set som alternativ til deponering - er også fordelagtig. På grundlag af overslag fra 1991 [8], hvori transportomkostningerne ikke indgår og justeret for en senere regulering af affaldsafgiften, findes, at der er ca. 100 kr/t til at betale ekstra transportomkostninger i forhold til primære tilslagsresourcer, ~ 100-120 km kørsel. I større byområder vil transport til og fra knuseanlæg ofte være kortere end transport til fyldplads og fra grusgrav.

Under disse forudsætninger skulle genvinding af betonaffald som tilslag være en naturlig del af byggeprocessen, men sådan er det ikke.

Det skyldes, at materialet også er velegnet til vejbygning. Her kan man, i hvert fald med de øjeblikkelige små affaldsmængder, afsætte det knuste beton direkte fra knuseren uden sortering. Kornkurverne ligger så tæt ved kravene til SG II, at materialet kan afsættes til bærelag i sekundære veje og stier.

Selv om vejbyggerne skulle stramme kravene til materialet, når der kommer større mængder knust byggeaffald, vil beton formentlig alligevel kunne forarbejdes billigere til velegnet vejma-

teriale end til tilslag i beton, hvor den fine fraktion skal fjernes.

Så måske har oplysningerne her ikke direkte praktisk betydning ud over, at de viser, at beton kan genbruges i beton. Men bygningsaffald består af andet end beton. En langt større del af stenfraktionen er tegl eller andre svagere stenmaterialer, og der er foretaget tilsvarende undersøgelser af disse materialer, refereret for eksempel i [8] og [9].

Vejbyggerne er ikke interesseret i disse materialer, p.g.a. at de ikke er frostsikre, og økonomien i anvendelsen som tilslag i beton er også her fordelagtig, i hvert fald i de store byer (også mange andre steder).

Da der vil komme meget store mængder af disse materialer i forbindelse med de kommende års byfornyelse bør betonproducenterne interesserer sig for disse svagere stenmaterialer bl.a. for at have argumenter i en kommende diskussion om branchens miljøforståelse.

Der er stadig nogle usikkerheder og uhensigtsmæssigheder, som må klares af, inden de svage stenmaterialer kan anvendes som tilslag i beton i stort omfang. Da det ligger udenfor det emne, som overskriften angiver, skal det ikke beskrives nærmere i dette notat. Her skal blot afslutningsvis bemærkes, at Dansk Betonforening har nedsat en arbejdsgruppe vedr. genanvendelse, som netop arbejder på at finde svar på de uafklarede spørgsmål, og på at tilpasse regler og vejledninger, så de svagere stenmaterialer kan anvendes ved bl.a. elementproduktion.

Litteraturliste

[1] "Byggeriets materialeforbrug". Axel Nielsen · Carl Bro as og Statens Byggeforskningsinstitut.
Miljørapport nr. 221, Miljøstyrelsen, 1993.

[2] "Prognose for bygge- og anlægsaffald". Axel Nielsen as et al. Miljørapport nr. 150 og 151, Miljøstyrelsen, 1990.

[3] "Anvendelse af nedknust beton i ny beton". Axel Nielsen as Miljøprojekt nr. 157, Miljøstyrelsen, 1990.

[4] "Anvisning for genanvendelsesmaterialer i beton til passiv miljøklasse". Dansk Betonforening, publikation nr. 34, 1989.

[5] "Belastningsforsøg på motorvejsbro ved Knudshoved". Axel Nielsen · Carl Bro as for Vejdirektoratet og DSB, 1993.

[6] "Genanvendelse af betonbelægninger, delrapport 3: Bestemmelse af nedknust betons densitet, vandabsorption og mørtelindhold". Henriksen, A; Hansen, O. R. og Puckman, K. Rapport udarbejdet til Miljøstyrelsen.

[7] "Analyse af nedknust beton fra bro, samt proportinering af genbrugsbeton". Dansk Beton Teknik A/S.
Intern rapport til projekt: Fragmentering af Genanvendelse af beton, 1992.

[8] "Beton med nedknust tegl som tilslag". Axel Nielsen as et al., Miljørapport nr. 181, Miljøstyrelsen, 1991.

[9] "Initial material parameters of concrete with recycled aggregates". Research report Task no. 5. Dansk Vejbeton et al.EC-Contract: Recyclability in concrete of demolition refuses containing materials non-compatible to the traditional cement matrix, 1991.

A/S Storebæltsforbindelsen
Vester Søgade 10
1601 København V

BETON TIL STOREBÆLTSFORBINDELSEN

Hvordan er det gået?

af

Kjeld Roger Henriksen

Juli 1993

Indholdsfortegnelse

		Side
1.	Indledning	67
2.	Storebælts krav til beton	69
	2.1 Levetid	69
	2.2 Nøglekriterier	70
	2.3 Holdbarhedsstrategi	70
	2.4 Kravformulering	71
3.	Sammenligning med basisbeton-beskrivelsen (BBB)	72
	3.1 Generelt	72
	3.2 Betonens delmaterialer	72
	3.3 Betonens sammensætning	73
	3.4 Hærdnet beton	73
	3.5 Kontrol	74
4.	Storebælts betonkurser	74
5.	Erfaringer	75
Bilag:	Generalnote for Østbroen	80

BETON TIL STOREBÆLTSFORBINDELSEN

Hvordan er det gået?

1. Indledning

Som bygherre for et stort anlægsprojekt, der skal tjene som en hovednerve i det danske trafiknet i de kommende 100 år, og som vil indeholde betydelige betonmængder (placeret for en stor dels vedkommende på udsatte steder), har betonens kvalitet og dens korrekte anvendelse en overordentlig central betydning. Dette skal også ses i erkendelse af, at dette bygværk vil komme til at stå som et vartegn for dansk bygningskunst.

Betonens rolle

At beton har en så stor rolle, kan primært tilskrives materialets velegnethed (styrke, holdbarhed, bearbejdelighed, æstetik mv.) sammenholdt med en konkurrencedygtig pris i Danmark. De gennemførte store licitationer på Storebæltsprojektet har således vist, at såvel for en tunnel som for en lavbro som Vestbroen kan stålløsninger ikke udkonkurrere betonen, der jo kan fremstilles stort set udelukkende af danske råmaterialer. Dette har også tidligere licitationer vist, og der findes efterhånden mange markante betonbygværker i Danmark.

På Østbroens tilslutningsfag, der kun overfører biltrafik, har det imidlertid vist sig fordelagtigt i forbindelse med en spændvidde på 193 m at vælge en ståloverbygning, som fremstilles af den samme entreprenør, som udfører hængebroens ståloverbygning.

OVERSIGT OVER
BETONMÆNGDER TIL STOREBÆLT
(x $10^3 m^3$)

Betonmængder

Anlæg	Konstruktion	Betontype A	B	Div.	I alt
Vestbro	Lavbro	62	392	106	560
Østtunnel	Tunnel	173	64	13	250
Østbro	Højbro	80	170	-	250
				I alt	1060

Men netop det forhold, at betonen skal anvendes på selv de mest udsatte steder, og vise sin styrke og holdbarhed i mere end en menneskealder, stilles der betydelige krav fra bygherrens side.

Der findes ikke armerede konstruktioner i Danmark, der endnu har opnået en alder på 100 år, og de konstruktioner, der er tættest på dette, har ikke været udsat for havvand.

De krav, der bl.a. må stilles, er:

Bygherrekrav

- At tilgængelig viden og erfaring om betons korrekte sammensætning, anvendelse, udførelse, nedbrydning og vedligehold nyttiggøres i størst mulig udstrækning.

- At betonkonstruktionerne udformes hensigtsmæssigt og under hensyntagen til funktionskravene.

- At kravene til betonen og dens delmaterialer nøje tilpasses betonens påvirkninger såvel i udførelsessom driftsfasen bl.a. baseret på en klar holdbarhedsstrategi.

- At betonarbejdets udførelse, der i mange tilfælde kan finde sted under ugunstige arbejdsbetingelser, sker velplanlagt, med egnet udstyr, egnede metoder og ressoucer og ikke mindst af veltrænede folk.

- At betonkonstruktionerne i en kommende driftsfase bliver overvåget og vedligeholdt, således at utilsigtede beskadigelser (fx fra skibsstød eller brand) eller andre nedbrydningstendenser i tide bliver begrænset og afhjulpede.

Disse krav retter sig mod alle byggeprocessens parter; for kun ved fælles anstrengelser kan kravet om minimum 100 års levetid sikres opfyldt. Hvis blot en af parterne i denne kædeproces svigter, vil sandsynligheden for holdbarhedskravets opfyldelse være betydeligt forringet.

Krav til byggeriets parter

Her skal jeg ikke undlade at påpege, at netop rådgiverens valg i de tidlige projektfaser mange gange har langt større kvalitetsmæssige konsekvenser end valg i de senere projektfaser.

Da holdbarhedskravets opfyldelse først reelt kan konstateres af vore børnebørn, må en bygherre i høj grad basere sig på de erfaringer, gode såvel som dårlige, der er indhøstet fra lignende opgaver, samt på den betonforskning og -udvikling, der gør det muligt at satse så hårdt på betons anvendelse til kritiske konstruktioner samt gør det muligt gennem accelereret prøvning at kunne forudsige betonens evne til at leve op til bl.a. holdbarhedskravene.

Erfaringer

Jeg vil i det følgende undlade at beskæftige mig yderligere med væsentlige parametre som fx hensigtsmæssig design, kvalitetsstyring hos rådgivere, entreprenører og leverandører samt drift og vedligehold af betonkonstruktioner, men i stedet rette blikket mod betonteknologi. Dels den strategi Storebælt har anlagt og dels de erfaringer, der allerede er gjort, og nogle af de behov der kan ses inden for bl.a. betonforskning og -udvikling.

2. Storebælts krav til beton

2.1 Levetid

Storebælts krav om 100 års levetid har en afgørende indflydelse på såvel projekteringen som udførelsen af anlægget.

Broens forudsatte funktionalitet skal således være til stede i hele denne tidsperiode, udmattelsesundersøgelser samt vurdering af is- og vindbelastninger skal baseres herpå, risikonalyser skal ligeledes baseres på acceptkriterier inden for en 100 års perioden, og endelig er krav til materialer og deres anvendelse baseret på en holdbarhedsperiode på 100 år.

100 års levetid

Sidstnævnte skal forstås således, at konstruktioner, der ikke kan udskiftes, skal udføres robust og sikkert, således at de kan oppebære den anførte holdbarhed i hele perioden med et minimum af udgifter til drift og vedligehold. Derimod skal let udskiftelige dele planlægges med en kortere levetid, der ud fra funktionelle og totaløkonomiske betragtninger giver bygherren de største fordele.

2.2 Nøglekriterier

3 nøglekriterier

Ved igangsætning af Storebæltsprojektet blev det bl.a. besluttet at forfølge følgende 3 nøglekriterier.

- Kvalitetskrav i udbudsdokumenter skal være velunderbyggede, entydige og operationelle samt i vid udstrækning baseret på kendt teknologi og erfaringer.

- Systematisk kvalitetsstyring skal tages i anvendelse hos alle parter.

- Informering og træning af entreprenørens personale og Storebælts tilsyn er væsentligt for opnåelse af godt betonarbejde.

Fælles Arbejdsbeskrivelse (FAB)

En af de første aktiviteter, Storebælt iværksatte, var udarbejdelse af en Fælles Arbejdsbeskrivelse bl.a. for beton. Begrundelsen for dette var en erkendelse af, at de kommende rådgiverkonsortier ville blive sammensat af firmaer af forskellig nationalitet, at de gode danske erfaringer med opstilling af specifikationer samt erfaringer fra tidligere større danske bygværker skulle udnyttes fuldt ud, at projekteringstiden ville være kort, og endelig at Storebælt havde nogle klare intentioner om bl.a. kun at anvende 1 betontype til hele byggeriet (blev senere justeret til 2, efter at rådgiverne havde foreslået 6-8 typer).

FAB'en blev færdig ultimo 1987 efter at have været til høring blandt en bred kreds af danske og udenlandske eksperter og har dannet grundlag for rådgivernes specifikationer til alle Storebælts betonudbud.

FAB'en er blevet justeret i december 1989 baseret på indhøstede erfaringer fra Tunnel og Vestbro, og endvidere er der udarbejdet en vejledning til rådgiverne i FAB'ens anvendelse. Sidstnævnte fandtes bl.a. nødvendigt af hensyn til de små landanlægs-entrepriser, idet der var en risiko for, at de ekstreme holdbarhedskrav gik ukritisk ind i selv små betonudbud, hvilket er yderst uheldigt både prismæssigt og politisk.

2.3 Holdbarhedsstrategi

Flertrins strategi

Da betonen jo ikke i sig selv med sikkerhed kan forventes at opfylde holdbarhedskriteriet på de mest udsatte steder, er der på Storebæltsprojektet opstillet en flertrins holdbarhedsfilosofi for disse konstruktioner.

Dette skal forstås på den måde, at hvis en af de planlagte beskyttelsesforanstaltninger svigter, vil andre tage over.

I denne strategi er betonens egen kvalitet, specielt i dæklaget, naturligvis hovedelementet, men metoder som epoxy coated armering, katodisk beskyttelse, ekstern grouting og variationer i dæklagstykkelser indgår også som elementer.

2.4 Kravformulering

De væsentlige nedbrydningsparametre, som har spillet en rolle i kravformuleringerne til Storebælt, er alkalikiselreaktioner, frost-tø påvirkninger og kloridinitieret korrosion samt sulfatangreb og termorevnedannelser.

Væsentlige parametre

Hver af disse nedbrydningsmekanismer stiller bl.a. krav til betonens delmaterialer og sammensætning, og nogen gange er kravene modsatrettede, hvorfor der i valg af kravgrænser bør foretages en kvalificeret afvejning mellem de forskellige parametre.

Afvejning af krav

For at begrænse risikoen for alkalikiselreaktioner er følgende strategi valgt:

Begrænse alkalikiselreaktioner

- Alkali-reaktive klippegranitter undgås (I Norge har man visse steder i de senere år måttet registrere alvorlige alkali skader)
- betonens initialindhold af alkali begrænses (såvel i cement som i sand, sten og tilsætningsstoffer)
- mikrosilica og flyveaske anvendes i en vis minimumsmængde (min 5% MS og min. 10% PFA)
- forprøvning og kontrolprøvning i relation til alkali kræves
- og evt. tvivl kommer anlægget til gode.

For at begrænse kloridindtrængning og sulfatangreb anvendes følgende strategi:

Begrænse kloridindtrængning

- Lavalkalisulfatresistent Portland Cement med et C_3A-indhold på 3-5% anvendes.
- Pastasammensætningen optimeres under anvendelse af silica og flyveaske samt under betonproportionering en optimal kornpakning.
- En lav kloriddiffussionskoefficient opnås bl.a. gennem lavt v/c-tal.
- Mikrostrukturelle defekter i dæklaget undgås (omhyggelig planlægning og efterbehandling samt kontrol ved LOK/CAPO-tests, mikroskopi samt kloriddiffussionsmålinger).
- Det initiale kloridindhold begrænses i alle delmaterialer.

- Betonafstandsklodser af samme kvalitet som betonen foreskrives, og der sigtes i forbindelse med udstøbning med en tæt indstøbning.

For at begrænse holdbarhedsskader fra frost-tø påvirkninger anvendes der ud over ovennævnte tæthedsskabende parametre (lavt v/c tal og ingen defekter i dæklag) følgende strategi:

Begrænse frost-tø skader

- afgrænsning af luftporer < 0,35 mm til 8-20% af kitmasse

- begrænsning af indkapslet luft (> 0,35 mm) til < 7% af kitmasse

- krav til luftboblernes min. specifik overflade (> 25 mm^{-1}).

3. Sammenligning med basisbetonbeskrivelsen (BBB)

BBB-sammenligning

3.1 Generelt

Skal man foretage en sammenligning mellem Storebælts betonspecifikationer og kravene i fx BBB'en, skal man især hæfte sig ved følgende:

Indledningsvis skal det bemærkes, at BBB gælder for bygningskonstruktioner, dvs. for helt andre miljøklasser end dem der gælder for et anlægsprojekt i havvand. I det følgende er der alene sammenlignet med krav til BBB'ens aggressive miljøklasse.

3.2 Betonens delmaterialer

Cement

Storebælt har valgt at specificere anvendelsen af lavalkalisulfatbestandig cement, som har været anvendt til større anlægsprojekter i Danmark de seneste 10-15 år. Af hensyn til bl.a. forbedret kloridbinding er C_3A indholdet øget. Der er endvidere stillet særlige krav til adiabatisk varmeudvikling.

Flyveaske + silica

For flyveasken og silica har Storebælt ønsket at anvende den bedste del af den flyveaske og silica, der produceres, og har derfor i forhold til beton-normen stillet supplerende krav til finhed og glødetab samt til alkaliindhold.

Sand

For sand har det især været alkali-reaktiviteten, der har været afgørende for kravformuleringerne. Da holdbarhedskravet er 100 år i særligt aggressivt miljø, er kravene blevet skærpet i forhold til BBB.

Sten

Da ikke al klippegranit er velegnet til betontilslag, er der formuleret særlige krav til den geologiske oprindelse og til begrænsning af partikler med mikrokrystallin og grovkrystallin textur samt til indhold af lette korn og sten med lagdeling.

For alt tilslagsmateriale skal der endvidere foretages måling af alkalireaktiviteten.

3.3 Betonens sammensætning

Da v/c-forholdet har en betydelig indflydelse på betonens tæthed og dermed på bl.a. kloridindtrængning, er der her sket en opstramning i forhold til BBB. V/c-forhold

Da cement stadig er en vigtig parameter ved fremstilling af beton, er der stillet krav om et minimum cementindhold. Vi kan altså ikke klare os alene med flyveaske, silica og tilsætningsstoffer. Cement

Ud fra tidligere forsøg og erfaringer (bl.a. Guldborgsund tunnelen) med flyveaske og silica har Storebælt foreskrevet en 3-pulverblanding og således krævet et minimumindhold af såvel flyveaske som silica. Flyveaske silica

For at begrænse svind, der bl.a. har stor betydning for forspændte konstruktioner, er der sat en øvre grænse for vandindholdet. Vand

3.4 Hærdnet beton

Da det er kvaliteten af den udførte betonkonstruktion, der er helt afgørende, er der stillet styrkekrav baseret på måling af LOK/CAPO-styrker. Styrke

Disse målinger vil netop medtage effekten af entreprenørens arbejdsmetoder på det for holdbarheden så kritiske dæklag.

Erfaringerne har vist, at netop betoner med puzzolentilsætning er særligt kritiske over for efterbehandlingen. Det skal derfor sikres, at den ringe mængde vand, der er foreskrevet, forbliver i betonen. Udtørrings-beskyttelse

De gennemførte forsøg har vist, at fugtigholdelse af betontype A på mere end de 96 modenhedstimer end hvad der er gældende for type B har en afgørende indflydelse på kvaliteten af en beton med flyveaske og silica med det specificerede maksimale vandindhold.

Da det at undgå revner - især i visse udsatte zoner - anses for afgørende for opnåelse af den holdbarhed, er der ud fra tidligere erfaringer opstillet skærpede krav til temperaturdifferencer blandt andet ved sammenstøbning af 2 konstruktioner. Der er i specifikationerne beskrevet nogle af de midler entreprenøren må forventes at skulle tage i anvendelse for at overholde temperaturkravene. Temperatur-styring

Krav til luftporer er primært relateret til frostbestandigheden, og her er det især væsentligt at begrænse den indkapslede luft og at opnå en velfordelt porestruktur af de små luftbobler i kitmassen. Luftporer

For de særlige kritiske konstruktioner, fx tunnelsegmenter, er stillet krav til kloriddiffussionskoefficienten samt til første års indtrængning. Dette er ikke før sket i Danmark, og niveauet svarer til bla. kravet ved Kanaltunnelen.

Kloriddiffusion

3.5 Kontrol

Kontrolprincip

På kontrolsiden er der for Storebælts arbejdsbeskrivelse sket en opstramning, dels baseret på det kriterium at hver gang der er formuleret et kvalitetskrav, skal der foreligge en veldefineret og reproducerbar prøvningsmetode, et veldefineret acceptkriterium og gerne en redegørelse for konsekvens af manglende opfyldelse, og dels i systematikken vedrørende prøvning før start af betonarbejderne.

Forprøvning

Denne forprøvning omfatter såvel prøvning af betonens delmaterialer, sammensætning og udførelse som større prøvestøbninger (min. 15 m^3), der skal dokumentere, at alle krav til sammensætning og betonarbejdets udførelse kan opfyldes samtidigt. Sidstnævnte prøvestøbning igangsættes først efter at det gennem en række prøveblandinger er dokumenteret, at alle delkrav er opfyldt med den foreslåede betonsammensætning.

Ovennævnte prøvningsproces kan synes lang, men sammenholdt med den rækkevidde kvalitetskravene skal have (100 år) er det helt essentielt, at alle nødvendige ressourcer bliver sat ind på at løse problemerne i denne fase.

Kvalitet i endelig konstruktion

Et væsentligt forhold i prøvningen af Storebælts beton er at kende kvaliteten i den endelige konstruktion og ikke blot på laboratorieprøver. Formålet er selvfølgelig også at vurdere effekten af entreprenørens pumpning, udstøbning, vibrering, fugtigholdelse og temperaturstyring i øvrigt. De prøvningsmetoder, der tages i anvendelse for at vurdere betonens dæklag, er bl.a udtrækksbolte (LOK/CAPO), petrografisk analyse og kloriddiffusionsmålinger på dele af udborede kerner.

4. Storebælts betonkurser

Betonkurser på 3 niveauer

Med det formål at informere de parter, der skal forestå betonarbejdets udførelse, kvalitetssikring og tilsyn, om Storebælts krav til betonarbejdet, om baggrunden for kravenes formulering, om forudsætningerne for at kunne opfylde disse krav samt om metoderne til at vurdere opfyldelsen af kravene, har Storebælt med bistand fra Dansk Betoninstitut arrangeret betonkurser på 3 niveauer.

Der er dels gennemført 1 dags orienteringskurser for entreprenørens ledende ingeniører sammen med tilsyns-og projektledelsen hos Storebælt, dels 3 dags kurser for entreprenørens formænd, ingeniører og KS-folk sammen med Storebælts fagtilsyn og endelig 1-2 dags kurser i LOK/

CAPO-testning for de personer, der skal forestå og kontrollere gennemførelsen af disse prøvninger.

Kurserne er blevet fulgt af mange og en hel del uklarheder og problemer er blevet drøftet igennem før betonarbejdernes igangsætning. Der er blevet uddelt en hel del diplomer til de deltagere der har bestået det sidste kursus, der indeholdt en prøve på deltagernes tilegnede viden og kunne.

Med disse kurser har bygherren villet medvirke til, at de mennesker, der får ansvaret for at gennemføre betonarbejdet på byggepladsen, har fået en bedre baggrund for at løse denne opgave gennem større viden. Dette betragtes som en af de væsentlige parametre i projektets kvalitetssikring.

5. Erfaringer

Storebælts arbejdsbeskrivelser har indtil videre været anvendt til Østtunnelen og Vestbroen samt til de store komplicerede sænkekasser til Østbroen. Endvidere er broer og perrontunneler på Fyn og Sjælland er blevet udført med betontype B.

I det følgende skal kort anføres nogle af de indhøstede erfaringer: — Erfaringer

- Cementproducenten har haft lidt indkøringsvanskeligheder med den ajourførte lavalkalicement, således har det været svært at styre produktionen inden for Storebælts snævre rammer (setting time og adiabetisk varmeudvikling): — Cement

- Det har vist sig vanskeligt med sikkerhed at få leveret flyveaske, og producenten har ikke villet binde sig til Storebælts kvalitetskrav om finhed og glødetab. Det har dog indtil videre været muligt at få acceptable leverancer. — Flyveaske

- Det har været en lidt længere proces end ventet at få tilpasset vibreringstiden for tunnelsegmentbetonen til udstøbningsbetingelserne, idet der samtidig her har været et ønske om at undgå overformen fra de krumme segmenters ydre dele. (Hældningen er her ca. 30°). — Vibrering af segmenter

- Generelt set har det vist sig vanskeligt (hvad det måske altid har været) at opfylde kvalitetskravene til mikrostruktur. — Mikrostruktur

- Betonens længere afbindingstid er tilsyneladende kommet bag på entreprenørerne. Entreprenørerne har skullet vænne sig til betonens egenskaber under betonarbejdets udførelse. — Afbinding og form- tryk

- Entreprenøren har endelig haft en vis modvilje mod anvendelse af udtræksbolte til vurdering af det udførte betonarbejde, hvilket har gjort, at behov for testudstyr og nødvendige ressoucer er blevet nedprioriteret. Udtræksbolte

- Styring af hærdetemperaturforløb synes nu efter 5-10 års udvikling at have fået den opmærksomhed i planlægningsfasen, som er nødvendig for at dette kan blive en integreret del af produktionsteknikken. Hærdestyring

- De enkelte konstruktionselementers statiske indspændingsforhold har en væsentlig indflydelse på udviklingen af revner i hærdeperioden, hvilket der bør tages hensyn til i formuleringen af temperaturkravene. I dette billede indgår går forholdene omkring tidlig svind, især i betoner med mikrosilica.

- Branchen har behov for at en større betonkemisk viden bliver opbygget hos alle parter. Betonkemi

- Der bør etableres en bedre systematik i optimeringen af arbejdsmetoder og betonproportionering med henblik på opnåelse af gode udførelsesforhold uden at slække på de langsigtede kvalitetskrav. Optimering

- Der synes at være et stort behov for udvikling af pålidelige prøvningsmetoder der på accelereret form kan give en vurdering af betonens langtidsholdbarhed, herunder den forventede levetid. Det er således utilfredsstillende, at de tager 1/2-1 år at vurdere tilslagets alkalireaktivitet. Endvidere bør der ske en videreudvikling inden for prøvning af kloridindtrængning. Accelererede prøvningsmetoder

- Der synes behov for at få videreudviklet den petrografiske prøvningsmetode i retning af mere operatøruafhængighed. Petrografi

- Vi mangler stadig pålidelige parametre til spændingsberegninger.

- Endelig synes prøvning af frost/tø-modstand at være alt for usikker og måske uden sammenhæng til betonernes rette påvirkning i naturen. Nogle mere realistiske men stadig accelerende metoder er ønskelige. Frost-tø prøvning

Det har fra starten af projektet stået klart, at Storebælt ikke har ønsket en traditionel beton, hvilket er kommet til udtryk i de opstillede krav til betonens kvalitet og i de opstillede rammer for betonsammensætning, som vil føre frem til betoner med særlige bearbejdningsegenskaber. Ikke traditionel beton

Disse rammer anfører betontyper, som er særlige ved deres kombination af et meget lavt vandindhold, et lavt vandcementtal og tre komponenter i bindemidler.

Specifikationer til højkvalitetsbeton fører normalt frem til variationsmuligheder ved proportioneringen, som er snævre sammenlignet med traditionelle betoner.

I sit prøvestøbnings-program skal entreprenøren samstemme betonrecept med konstruktionsprincipper og produktionsteknik.

Særlige betontyper

I den proces fokuseres der især på bearbejdelighed og hærdeforhold, som begge har en afgørende indflydelse på entreprenørens arbejdstakt og dermed økonomien.

Bearbejdelighed og hærdeforhold

Ved de udførte prøvestøbninger har det vist sig muligt at opnå den fornødne bearbejdelighed set i relation til den anvendte produktionsteknik.

Prøvestøbninger

Ved Vestbroen blev det dog nødvendigt at tillade en forøgelse af vandindholdet fra 140 kg/m^3 til 160 kg/m^3 i forbindelse med glidestøbningerne af sænkekasserne. Som følge af dette forhold samt den faktisk opnåede mikrorevnestruktur måtte denne vandtilsætning dog kombineres med katodisk beskyttelse af armeringen.

Justering af vandindhold

Ved få langvarige og komplicerede støbninger af Østbroens sænkekasser har de været nødvendigt at efterdosere superplastificering for derved at bevare bearbejdeligheden i den nødvendige tid for transport, placering og vibrering.

Efterdosering

Erfaringen er, at det ikke så meget er betonens bearbejdelighed som mulighederne for at kunne udføre støbearbejdet og den minutiøse planlægning af dette, der har været afgørende for den opnåede kvalitet.

Planlægning af støbearbejdet

Det er en kendt sag, at især grænsen mellem de enkelte udlagte lag kræver særlig opmærksomhed og omhu ved støbninger med betoner, der har opnået sin bearbejdelighed ved tilsætning af superplastificering. Ved sin selvkomprimeringseffekt som følge af superplastificeringen vil betonen nemlig hurtigere blive tung at arbejde med, hvilket er særligt kritisk ved samvibrering af udlagte lag.

'død' beton

Ud over forskellige typer og mængder af tilsætningsstoffer kan bearbejdeligheden kun bevirkes via bindemiddelsammensætning og bindemiddelindhold samt typer og graderinger af tilsætningsmaterialer.

Påvirkning af bearbejdelighed

De opstillede krav til de maksimale temperaturdifferencer i hærdeperioden stiller sammen med et minimumskrav til pulverindhold snævre grænser for cementindholdet og dermed via vandcementtallet til vandindholdet.

Max/min indhold af cement

Det viser sig således også, at det ikke er gennem ændringer i betonsammensætningen at man kan påvirke de hærdeteknologiske forhold, men gennem en udstrakt køling af den friske beton - enten med kølerør eller flydende kvælstof.

Kølerør/ flydende kvælstof

Anvendelse af køling har medført anbringelse af et net af kølerør som især i vægstøbninger sammen med armeringen har stillet store krav til planlægningen af støbearbejdet - og hermed til bearbejdeligheden af betonen. Støbeforhold, planlægning af støbearbejdet og bearbejdeligheden af betonen går hånd i hånd og stiller krav til omtanke såvel hos rådgivere som entreprenører.

Ikke alene bearbejdelighed

Hånd i hånd

Bilag: Generalnote for Østbroen

REQUIREMENTS
with reference to FAB.

Component	Characteristics	Unit	Concrete type A	Concrete type B
Cement	Type PC(A/HS/EA/G)	SBC 227	·	·
Coarse Aggregates	Expansion of concrete prisms, max.	0/00-weeks	0.4-52	0.4-52
	Absorption max.	% of coarse aggregate	1.0	1.0
	Particles of equant shape, min.	% of coarse aggregate	70	70
	Particles < 0,075 mm, max.	% of coarse aggregate	1.0	1.0
	Nominal maximum particle size	mm	32	32
Fine Aggregates	Alkali-reactive material, max.	vol % of fine aggregate	1.0	1.0
	Expansion of mortar bars, max.	0/00-weeks	0.5-20	1.0-20
	Mica content, max.	% of fine aggregate	1.0	1.0
	Particles<0,075 mm, max.	% of fine aggregate	3.0	3.0
Concrete fresh and hardened	Characteristic compressive strength, min.	MPa	45	45
	Water/cement-ratio, max.	by mass	0.35	0.40
	Cement content, min.	kg/m^3 concrete	300	300
	Content of pulverized fuel ash (PFA), min.	% of powder	10	10
	Content of condensed silica fume (CSF), max.	% of powder	8	8
	Content of condensed silica fume (CSF), min.	% of powder	5	5
	Content of PFA + CSF, max.	% of powder	25	25
	Water content, max.	Kg/m^3 concrete	135	140
	Content of air voids < 0,35 mm, max. [1]	vol % of matrix	20	20
	Content of air voids < 0,35 mm, min. [1]	vol % of matrix	8	8
	Content of air voids > 0,35 mm (entrp. air), max. [1]	vol % of matrix	7	7
	Specific surface of air void system, min. [1]	mm^2/mm^3	25	25
	Chloride content, max.	% of powder	0.075	0.075
	Alkali content, max.	kg/m^3 concrete	2.5	2.5

Curing	Protection against evaporation, min.	M20 (maturity-hours)	240	96
	Curing membrane		No	Yes
Minimum cover + tolerance	Reinforcement protection	mm	50 + 5	35 + 5
	Caissons; external and internal	mm	-	50 + 5
	Pylons; external			
	-3.5 < level < 21	mm	75 + 5	-
	21 < level	mm	-	75 + 5
	Pylons; internal	mm	50 + 5	50 + 5
	Pier Shafts; external			
	-3.5 < level < Zo	mm	75 + 5	-
	Zo < level	mm	75 + 5	
	Zo = max of level 2 or + 10 m			
	Pier Shafts; internal	mm	50 + 5	-
	Anchor Blocks, In-Situ Works			
	-1.5 < level < 10 m	mm	75 + 5	-
	10 m < level	mm	75 + 5	-
	Anchor Blocks; internal	mm	50 + 5	-
	Superstructure	mm	40 + 5	40 + 5

Note[1]: If the structure is not exposed to frost action, there will be no special requirements concerning the air void content and parameters for the air-void system in the concrete.

DBF – publikationer:

Nr 4:77	"The Role of Ready mixed Concrete in constr.indust"	Kr.15,–
" 6:77	"Seminar om BRUDMEKANIK" Afh. 29.sept. 1977	" 60,–
" 4:78	"Prøvningsmetoder for beton" Møde 1.3.1978	" 40,–
" 5:78	"Beton i svømmebade"(Anders Nielsen&Sv.E.Petersen)	" 30,–
" 6:79	"Betonuddannelserne i Danmark" (C de Fontenay)	" 0,–
" 7:79	"Dansk Betondag 1979"	" 55,–
" 8:79	"Nedbrydn.af beton & svingn.påvirkn.af bygværker"	" 35,–
" 9:80	"Farø broerne" Møde 3.10.1979	" 45,–
" 11:81	"Brandpåvirkede betonkonstruktioner" Møde 21.1.81	" 35,–
" 12:81	"Tilsætningsstoffer til beton" Datablad II.udg.81	" 30,–
" 14:81	"Luftindblanding i beton" Debatmøde 26.11.1980	" 25,–
" 15:82	"Plastificering af beton" Møde 30.9.81	" 35,–
" 17:83	"Holdbare svømmebassiner" (Sv. E. Petersen)	" 45,–
" 18:83	"Dansk Betondag 1983"	" 70,–
" 19:83	"Proportionering af holdbar beton"	" 60,–
" 20:84	"Demolering og genbrug af beton"	" 45,–
" 21:84	"Dansk Betondag 1984"	" 45,–
" 22:85	"Beton og frost" Nordisk Workshop okt. 1984	" 95,–
" 23:85	"Dansk Betondag 1985"	" 50,–
" 24:85	"Betonelementer – Europæisk udvikl" Møde 18.10.85	" 60,–
" 25:85	"In-situ ikke-destruktiv prøvning" Møde 6.11.1985	" 55,–
" 26:86	"Dansk Betondag 1986"	" 50,–
" 27:86	"Chlorider i armeret beton" Møde 11.12.86	" 55,–
" 28:86	"Luftporestruktur" Møde 22.1.86	" 70,–
" 29:87	"Dårlig beton – hvad nu?" Møde 18+25.3.87	" 70,–
" 30:87	"Store bro- og tunnelprojekter" Møde 26.11.86	" 60,–
" 31:87	"Dansk Betondag 1987"	" 55,–
" 32:88	"Dansk Betondag 1988"	" 60,–
" 33:89	"Dansk Betondag 1989"	" 40,–
" 34:89	"Anvisning for genanvendelsesmaterialer i beton til passiv miljøklasse"	" 30,–
" 35:90	"Anvisning for efterbehandling af beton"	" 30,–
" 36:90	"Dansk Betondag 1990"	" 55,–
" 37:91	"Dansk Betondag 1991"	" 70,–
" 38:92	"Anvisning i katodisk beskyttelse"	" 45,–
" 39:92	"Dansk Betondag 1992"	" 70,–
Uden nr.	Kontroljournaler 1988 – Blanketter m/vejledn.	" 75,–

Publikationerne kan fås ved skriftlig henvendelse til:
Dansk Ingeniørforening, Møderegistreringen
Vester Farimagsgade 29, 1780 København V

ISSN nr. 0106-0406
ISBN nr. 87-87623-35-7
TEKNISK FORLAG A/S KØBENHAVN