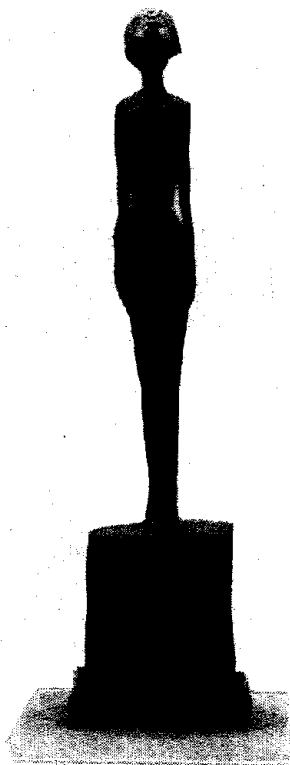
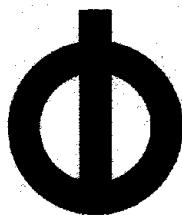


Dansk Betonforening



Dansk Betondag 1995

Publikation nr. **42**

Lidt om:

"Maren å æ woun"

(Kvinde på kærre)

Kunstner: Alberto Giacometti schweizisk billedhugger (1901 - 1966).
Placeret foran det gamle Rådhus i Holstebro.
Opstillet: 10. marts 1966.

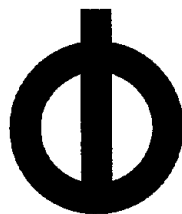
Skulpturen blev skabt i 1942, og var altså 24 år ved ankomsten til Holstebro. "Hun" blev hentet fra Paris, hvortil Giacometti kom i 1922 - 21 år gammel, for at videreudanne sig. Han blev i Paris, kun afbrudt af besøg i Schweiz, hvor bl.a. "Kvinde på kærre" blev til. Byen betalte kr. 210.000, hvoraf de kr. 60.000 blev givet af Ny Carlsbergfondet.

"Hun" havde de første år sin plads ved Holstebro Kirke (1966-1978). Kærren er inspireret af en apotekervogn, som kunstneren havde set på et hospital. Skulpturen er lavet af bronze og er 155 cm høj.

En lille og yndefuld pige, som ved sin ankomst til Holstebro udløste forskellige reaktioner. I protest mod skulpturen lagde byens borgere madpakker til "hende", fordi de syntes, "hun" så så sulten og forfrosen ud. "Kejserens nye klæder" - "kulturel og åndelig konkurs" - "fordømmelse af befolkningen" - "intetsigende klatsmøri" - "en stensikker fiasko" var nogle af ordene i de vrede læserbreve. Nogle mente, pengene skulle have været anvendt til f.eks. en danserestaurant eller til sportshaller. Så var der dem, der straks tog "hende" til sig på den for vestjyder sædvanlige jordnære facon. "Maren å æ woun" blev hendes lokale kælenavn, og det hænger stadig så meget ved, at mange faktisk ikke kender den rigtige titel.

Skulpturen har dog senere vist sig at være en god investering, og i dag er der næppe mange, der ønsker "Maren" afsat.

Dansk Betonforening



Publikation nr. 42

Publikation nr. 42:95

Denne publikation indeholder indlæggene fra

Dansk Betondag 1995

Der blev afholdt den 21. september 1995
på Hotel Schaumburg, Holstebro

Forside-illustration:

- se inderside af omslag.

Publikationen er udgivet af:

Dansk Betonforening
c/o Ingeniørforeningen i Danmark
Vester Farimagsgade 29
1780 København V
Tlf.: 33 15 65 65 - Fax: 33 15 37 07

<u>Indhold:</u>	<u>Side</u>
Find Meyer:	
Anvisning i brug af højkvalitetsbeton til udsatte anlægskonstruktioner	5
Jens Frandsen:	
Stavvibrering	13
Mette Geiker:	
Luftindholdsstabilitet, HUA-2 projektet, Højkvalitetsbeton til udsatte anlægskonstruktioner	29
Ib B. Jensen:	
Introduktion til: MUP 2, Optimering af betonarbejde, Pakningsanalyser som værktøj til dimensionering af luftporestruktur	47
Erik Stoklund Larsen:	
Erfaringer med højstyrkebeton til broer	53
Gert Heshe:	
Er Normarbejdet gået i stå?	63
Susse Laustsen:	
Miljørigtig renovering af HK's forbundshus	75
Hanne Rønneberg:	
Beton i media, Norge høsten 1994	89
Mette Glavind:	
Betonbranchens påvirkning af miljøet - betonens livscyklus	99

Carl Bro Anlæg as
Vermehrensvej 14
5230 Odense M

Anvisning i brug af højkvalitetsbeton til udsatte anlægskon-
struktioner

af

Civilingeniør Find Meyer

Juli 1995

Indholdsfortegnelse	Side
1. Baggrund for projektet HUA-2	7
2. Projektbeskrivelse, HUA-2	8
3. Projektets gennemførelse	11
4. Projektets resultater	11
5. Litteraturhenvisninger	12

ANVISNING I BRUG AF HØJKVALITETSBETON TIL UDSATTE ANLÆGSKONSTRUKTIONER

1. BAGGRUND FOR PROJEKTET HUA-2

Øget bevidsthed om betydningen af betonkonstruktioners levetid har medført specifikationer med relativt snævre rammer for betonens sammensætning.

Betoner, der er sammensat således, vil, når de udstøbes under laboratorieforhold, udvise stor modstand mod nedbrydningsmekanismer, som kan forårsages af forekommende miljøbelastninger.

Når disse betoner bruges i anlægskonstruktioner og udstøbes således, at den færdige betonkonstruktion får tilsvarende stor modstand mod nedbrydningsmekanismerne, benævnes betonen "Højkvalitetsbeton". Højkvalitetsbeton stiller således krav til såvel sammensætning som udførelse.

Anvendelse af højkvalitetsbeton kan ændre forudsætningerne for valg af udførelsesmetoder, og har i nogle tilfælde medført væsentlige udførelsesmæssige vanskeligheder. Tidligere tiders erfaringer er ikke altid tilstrækkelige for højkvalitetsbetoner.

Lang levetid af bygværker søges ofte sikret ved krav om f.eks. lavt v/c-tal og iblanding af mikrosilica. For at opnå tilfredsstillende bearbejdelighed må entreprenøren anvende høj dosering af vandreducerende og superplastificerende tilsætningsstoffer. Dette medfører lang afbindingstid, og betonen kan i visse tilfælde miste sin bearbejdelighed efter kort tid.

Ligeledes kan sammensætningen forårsage klæbrighed og tendens til skorpedannelse, der kan medføre, at ikke alle traditionelle udførelsesmetoder uden videre kan anvendes.

Dansk Betoninstitut A/S har derfor gennemført et projekt i 2 faser for at klarlægge disse forhold, der ikke tidligere har været fyldestgørende eller systematisk beskrevet.

Projektets første fase, kaldet HUA-1, gennemførtes i 1993. I denne fase undersøgtes 6 nyere danske og 4 nyere udenlandske anlægskonstruktioner.

Undersøgelsens formål var at klarlægge de produktionsegenskaber som havde givet anledning til udførelsesmæssige vanskeligheder. Disse produktionsegenskaber var:

1. Bearbejdelighed
2. Klæbrighed
3. Luftindholdsstabilitet
4. Vibreringsbehov
5. Skorpedannelse
6. Afbindingstid
7. Formtryk

Projektets anden fase, kaldet HUA-2, er netop afsluttet og har bl.a. resulteret i udgivelse af en anvisning i brug af højkvalitetsbeton med ovennævnte 7 produktionsegenskaber.

Gennemførelse af projektet HUA-2 er muliggjort ved finansiering fra:

A/S Storebæltsforbindelsen
A/S Øresundsforbindelsen
Øresundskonsortiet
Vejdirektoratet
Aalborg Portland
Elkem
Nordisk Bygge Kemi A/S
Sika-Beton A/S

samt de 6 partnere i Dansk Betoninstitut A/S:

Carl Bro Gruppen as
COWiconsult A/S
Højgaard & Schultz a/s
Monberg & Thorsen A/S
Rambøll, Hannemann & Højlund A/S
Rasmussen & Schiøtz Øst A/S

2. PROJEKTBESKRIVELSE, HUA-2

HUA-2 bestod af 17 delopgaver med bemanning og ledelse som vist på Fig. 1.

For delopgaverne 3-9, der omhandler de 7 produktionsegenskaber, bestod opgaveløsningen generelt af følgende sekvenser:

- a. Der udtænkes metoder til prøvning af den pågældende produktionsegenskab.

Opgave	Opgaveleder	Tidsplan												Mandmåneder	Omkostninger tusinde kr.			
		1994						1995							Løn	Øvrige		
		Jun	Jul	Aug	Sep	Oktober	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug		
1. Detailplanlægning	FM	80															55	0
2. Foreløbig anvísning	FM	80															58	9
3. Bearbejdedelighed	PEG		123	120	170	175	174	41	24	24	12	12					875	100
4. Vibretningsbehov	JFR		7	38	80	80	80	35	15	10	10						450	150
5. Klæbrighed	UK		57	84	74	21	80	24	6	1	8	6					385	35
6. Skorpedamelse	JFR		7	20	20	20	30	7	3	3	3						120	200
7. Luftindholdsstabilitet	MGE		2	35	116	52	52	15	28	23	11						332	63
8. Albringstid	WEG		24	51	45	80	20	15	15	10							147	15
9. Formtryk	FM/IBR		53	37	50	10	5	5									169	64
10. Foreløbig brugbar anvísning	FM		20	20	30	35	55										158	5
11. Omkostningsfaktor	WEG		15	15	2	3							20	20	20		80	20
12. Styrke, holdbarhed	MGE		2	2	7	21	30	16	28	9							160	450
13a. Prøvestøbning, Kallundborg	WEG		15	85	105	40	55	20									247	1015
13b. Fuldskala-åprøvning	MGE		20	20				50	50	25	50	25	50	25	30		240	75
14. Endelig anvísning	FM		82	83	85	100	105	30	20	20	35	20	30	30	30		115	50
15. Slutrapporter	FM																80	50
16. Projektstyring	FM																700	140
																		292
																		1400
																		30
																		4371
																		4163
																		8534

Rev. 11 11. maj 95
J.5694/14

Fig. 1: Projektets tids-, bemands- og finansieringsplan

Milepæle:
 Detailplanlægning
 Delrapport, opg. 3, 5, 6, 8 og 13a
 Delrapport, opg. 4 og 7
 Foreløbig brugbar anvísning
 Anvísning udg. 1 til oversættelse
 Delrapport, opg. 12 og 13
 Endelig anvísning med tillæg
 Styregruppemøde
 Følgegruppemøde

FM: Finn Meyer
 UK: Ulla Kjær
 JFR: Jens Franchsen
 PEG: Per Gottemann
 MGE: Mette Gaalke
 IBR: Ib Brinchmann
 WEG: Torben Weornann

- b. Metodernes følsomhed overfor mørtel/betonblandinger med ekstreme sammensætninger afprøvedes i laboratorie. Den valgte prøvningsmetode blev beskrevet og undersøgt for reproducerbarhed.
- c. Med den valgte metode undersøgte produktionsegenskaberne størrelse for forskellige mørtel/betonsammensætninger. Herved bestemtes hvilke forhold ved betonsammensætningen, der har den væsentligste indflydelse på produktionsegenskaberne.
- d. Ved omfattende prøvestøbninger (Kalundborg) i mindre skala afprøvedes forskellige betontyper. Afprøvningen bestod i kvantitativ bestemmelse af produktionsegenskaberne med de udviklede prøvningsmetoder, og ved samtidig at observere udførelsen af f.eks. afretning, glitning eller vibrering, bestemtes sammenhænge mellem udførelse og produktionsegenskaber af de undersøgte betontyper.
- e. Udarbejdelse af input til anvisningen.
- f. Udarbejdelse af rapport.
- g. Medvirken ved fuldskala-afprøvning på et egentligt bygværk (Rødkårsbro) som Vejdirektoratet stillede til rådighed.

Projektets slutmål var at udarbejde en anvisning i brug af højkvalitetsbeton til udsatte anlægskonstruktioner.

Anvisningen indeholder metoder til optimering af samspillet mellem betonens sammensætning, betonens produktionsegenskaber, entreprenørens udførelsesmetoder og økonomi. Herved skulle det være muligt at afgrænse og støtte valget af udførelsesmetoder under hensyn til specifikationernes krav til betonen.

Anvisningen opbyggedes derfor således, at hver af de 7 produktionsegenskaber blev beskrevet med hensyn til:

- Definition
- Bedømmelse af produktionsegenskaberne ud fra betonsammensætningen.
- Prøvningsmetoder til kvantitativ bestemmelse af produktionsegenskaberne.
- Produktionsegenskaberne indflydelse på udførelse af betonarbejdet.
- Vurdering af produktionsegenskaberne indflydelse på omkostningerne.

3. PROJEKTETS GENNEMFØRELSE

Et udkast til anvisningen udarbejdedes allerede i juni 94. Dette udkast revideredes løbende efterhånden som resultater fra delopgaverne forelå.

Grundet ønske om en foreløbig anvisning allerede primo december 1994, måtte fuldskalaafprøvningen suppleres med omfattende prøvestøbninger i mindre skala. Disse prøvestøbninger, der udførtes i samarbejde med Great Belt Contractors's personale i Kalundborg, skulle i det væsentlige være færdige dec. 94 for at resultaterne kunne indarbejdes i decemberudgaven.

Dette betød en forcering af tidsplanen med ca. 3 måneder i forhold til den oprindelige plan.

Prøvestøbningerne i Kalundborg gennemførtes med 14 forskellige betonblandinger på 10 dage i perioden 1994.09.16 til 1994.11.24.

Forud for prøvestøbningerne havde laboratorieundersøgelserne ført til udarbejdelse af prøvningsmetoder og nødvendige overvejelser angående udformning af prøveemner, betonsortiment, grej og prøvningsudstyr.

Prøvninger på et egentligt anlægsbygværk gennemførtes i samarbejde med Vejdirektoratet og COWIconult A/S.

Allerede i september - oktober 1994 udarbejdedes tillæg til projektbeskrivelse for 3 broer ved Rødkårsbro. Decemberudgaven af anvisningen blev benyttet ved forprøvningerne med 3 specificerede betontyper der bl.a. undersøgtes ved rheometermålinger, klæbrighedsmålinger, vibreringsundersøgelser, luftindholdsstabilitet og afbindingstid.

En af broerne udførtes med 2 forskellige betontyper. Den ene brohalvdel med v/c-tal ca. 0,45, den anden halvdel med v/c-tal ca. 0,35. Udførelsen af denne bro juni 1995 var genstand for omfattende tidsanalyser for udstøbning, vibrering og afretning for de to forskellige betontyper med forskellige produktionsegenskaber.

På grundlag af de rapporterede oplysninger fra delopgaverne er anvisningen suppleret og underbygget i sin foreliggende form.

4. PROJEKTETS RESULTATER

Projektets resultater foreligger rapporteret i følgende publikationer udgivet af DANSK BETONINSTITUT A/S.

Anvisning i brug af højkvalitetsbeton (med tillæg)

- Høj kvalitetsbeton til udsatte anlægskonstruktioner, HUA-2 Hovedrapport
- Bearbejdelighed. HUA-2, Opgave 3
- Vibrering. HUA-2, Opgave 4.
- Klæbrighed. HUA-2, Opgave 5
- Skorpedannelse. HUA-2, Opgave 6
- Luftindholdsstabilitet. HUA-2, Opgave 7
 - Prøvestøbninger, Kalundborg
 - Sammenfatning af litteratur
- Afbindingstid. HUA-2, Opgave 8
- Formtryk. HUA-2, Opgave 9
- Styrke, holdbarhed. HUA-2, Opgave 12
- Prøvestøbning, Kalundborg. HUA-2, Opgave 13a
- Fuldskala-afprøvning. HUA-2, Opgave 13b

Projektræsultater for opgaverne vibrering, skorpedannelse og luftindholdsstabilitet omtales andetsteds i denne publikation.

5. LITTERATURHENVISNINGER

HIGH PERFORMANCE CONCRETE FOR EXPOSED CIVIL WORKS STRUCTURES, State-of-the-art-analysis. DANSK BETONINSTITUT A/S, Nov. 1993.

4K-Beton A/S
Islands Brygge 22
2800 København S

STAVVIBRERING

AF

JENS FRANDSEN

Juli 1995

1. Indledning

Formålet med Opgave 4, Vibrering er at fremstille en anvisning i, hvorledes høj kvalitetsbeton bør vibreres ved anvendelse af stavvibratorer.

Anvisningen er baseret på eksisterende viden og erfaring suppleret med prøvestøbninger med de betoner, der indgår i HUA-2-Projektet.

HUA-1-Projektet /1/ som var en videnindsamling fra nyere danske og udenlandske anlægsprojekter, giver ingen detaljerede oplysninger om, hvorledes stavvibrering på de undersøgte projekter er foretaget. Erfaringstal for produktionsydelse er angivet for almindeligt anvendte størrelser af stavvibratorer. HUA-1 anbefaler, at der udvikles en metode til at bestemme, hvornår en beton er tilstrækkelig komprimeret.

Høj kvalitetsbeton med 3-pulver blandinger er introduceret i Danmark gennem de sidste 10 år. På Storebæltsprojektet var 3-pulver blandinger et bygherkrav, som sammen med kravet om lavt vandindhold gav betoner, som havde andre rheologiske frisk beton egenskaber end sædvanlig. Betonens kohæsivitet (klistrethed eller sejhed) er specielt blevet beskrevet som et problem ved støbe- og komprimeringsarbejdet.

Både Vestbroentreprenøren og Østbroentreprenøren har udført vibreringsforsøg for at bestemme, hvorledes betonerne bedst kunne vibreres. Forsøgene er i første omgang udført for at bestemme, hvorledes antallet af luftblærer i overfladerne kunne begrænses, men samtidig er sammenhænge mellem lagtykkelser, afstand mellem nedstik og effektiv vibreringstid blevet undersøgt.

Baseret på erfaringerne på Vestbroen anbefaler A/S Storebæltsforbindelsen i kursusmaterialet til Østbroen /2/ følgende: "Betonen bør normalt udlægges i vandrette lag med en tykkelse svarende til 80% af stavvibratorens højde. Det er vanskeligt at drive den indkapslede luft ud af betonen p.g.a. betonens meget kohæsive karakter. Lagtykkelser anbefales derfor ikke at overstige 0,25-0,30 m. Det overordnede krav er en udlægning, som muliggør en systematisk ensartet vibrering af betonlaget og en sammenvibrering med betonlaget nedenunder."

Østbroentreprenøren har gennemført vibreringsforsøg, som indikerer, at den effektive vibreringstid bør ligge mellem 5 sek. og 20 sek. for Storebæltsbeton med sætmål mellem 140 mm og 75 mm.

2. Litteraturundersøgelse

Opgaven omfatter ikke en litteraturundersøgelse, og det følgende er langt fra en systematisk gennemgang af tidligere undersøgelser af vibrering. En udmærket gennemgang af den historiske udvikling af betonkomprimeringens teknologi er givet i reference /3/.

Anbefalinger og resultater vedrørende stavvibrering fra den gennemgåede litteratur er samlet i følgende hovedpunkter:

- procedure for stavvibrering
- produktionsydelser
- vibreringsfysik
- betonens sværhedsgrad
- formens sværhedsgrad
- overfladekvalitet

Procedure for stavvibrering

/3/ giver følgende anbefalinger:

Betonen bør udlægges i lag af 0,30 m til 0,45 m, lagene bør udlægges så jævne som muligt, således at betonen flyttes så lidt som muligt vandret med staven.

En mindre planering af overfladen kan være nødvendig, dette gøres ved at stikke staven ned i lagets højdepunkter.

Når overfladen er jævn, gennemføres den systematiske vibrering ved at nedstikke staven med passende afstande (nedstiksafstanden).

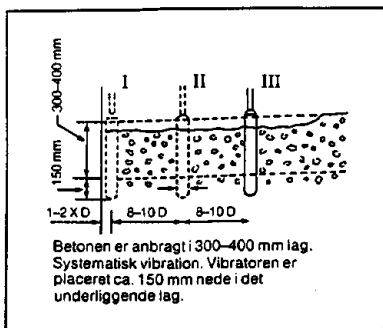
Staven bør stikkes hurtigt ned til bunden af laget og gå mindst 0,15 m ned i det foregående lag, hvor et sådant forefindes.

Staven holdes i bundpositionen i 5 til 15 sek., hvorefter den trækkes op med en hastighed af 0,075 m/sek (ca. 5 sek).

Hvert lag bør udlægges og vibreres, mens det foregående lag stadig har plastisk konsistens. Hvis det foregående lag er stivnet så meget, at staven ikke kan trykkes ned i det, kan der stadig etableres vedhæftning mellem lagene ved systematisk vibrering af det nye lag, men grænselinien mellem lagene vil tydelig kunne ses på overfladen efter afformningen.

/4/ angiver næsten samme regler som /3/ se figur R1, men angiver, at det kan være nødvendigt at øge vibreringstiden udover de 15 sek.

/4/ anbefaler en afstand mellem nedstik på 4-5 gange stavdiameteren.



Figur R1 Vibrering i flere lag beton

Produktionsydelser

/3/ angiver produktionsydelser og virkningsradius af stavvibratoren i tabel 5.1.4, se bilag 5.

/1/ angiver produktionsydelser i en tabel side 44, se bilag 5.

/5/ angiver produktionsydelser for brobygning og almindelige bygningsarbejder uden angivelse af stavens størrelse side 73 og 74, se bilag 5.

For stavvibratoren med diameter mellem 30 mm og 60 mm vil ydelsen ligge mellem 1 m³/time og 9 m³/time, med proportionalitet mellem ydelse og størrelse (d) af stavdiameter, og med mindre ydelser i komplicerede forme.

Vibreringsfysik

Vibreringens formål er at komprimere betonen ved at drive den indkapslede luft ud.

Vibreringen overvinder betonens indre friktion, og får betonen til at flyde som en tung væske.

I den tunge væske vil opdriften på den indkapslede luft få denne til at stige mod betonens overflade. Hastigheden, hvormed luften stiger op, afhænger af strømningsmodstanden i væsken.

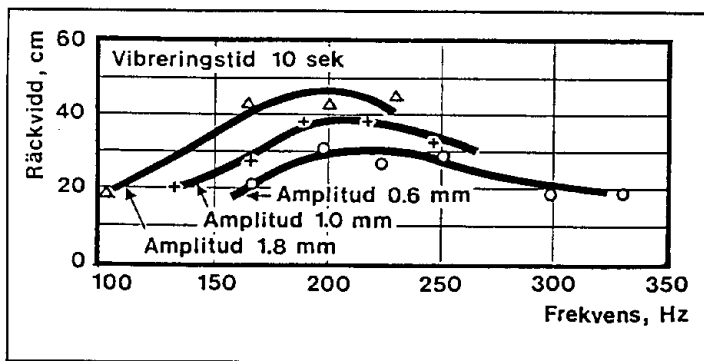
Mekanikken i vibrering og sammenhængen med formgeometri og betonens egenskaber er kompliceret.

En stavvibrator er karakteriseret ved følgende parametre:

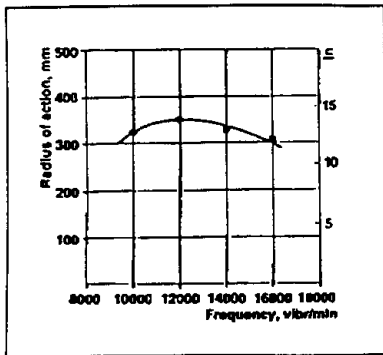
- stavens diameter
- stavens længde
- stavens masse
- excentrikerens masse
- frekvensen
- amplituden
- accelerationen

Stavens excentriker roterer med en frekvens bestemt af den anvendte energikilde, elektricitet, trykluft eller væsketryk (hydraulikolie). De almindeligt anvendte stavvibratører er elektriske med en frekvens på 12.000 omdrejninger/ minut eller 200 Hz. Denne frekvens opnås ved at omforme forsyningsnettes 50 Hz 4 gange.

At 12.000 omdr/min eller 200 Hz er optimalt for betonvibrering, er eftervist af Forssblad i 1965 /3/, /6/ og /7/. Den fundne sammenhæng mellem frekvens, amplitude, vibreringstid og rækkevidde er vist på figur R2. Hvis vibreringstiden øges fra de 10 sek, som vist i figuren, til 30 sek øges rækkevidden med ca. 50%. At 200 Hz også er optimalt for letflydende betoner med høje doseringer af superplastificerende tilsætningsstoffer, er også senere eftervist af Forssblad i /7/, se figur R3. Betoner med flyveaske og/eller mikrosilica er ikke undersøgt.



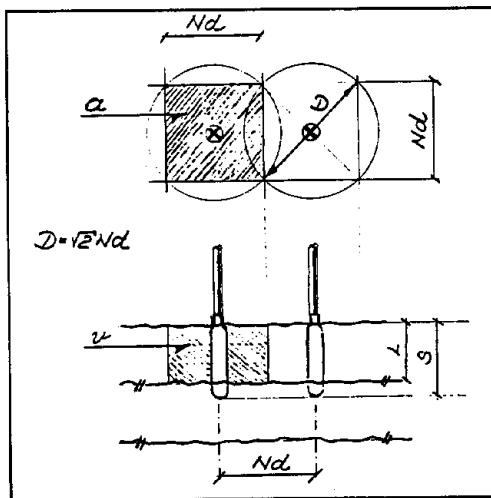
Figur R2 Sammenhæng mellem rækkevidde, frekvens og amplitude ved stavvibrering



Figur R3 Optimal frekvens for vibrering af betoner med høje doseringer af superplastificerende tilsætningsstoffer.

Excentrikerens masse og acceleration giver den kraft (Newton 2), hvormed betonen påvirkes og bestemmer amplituden.

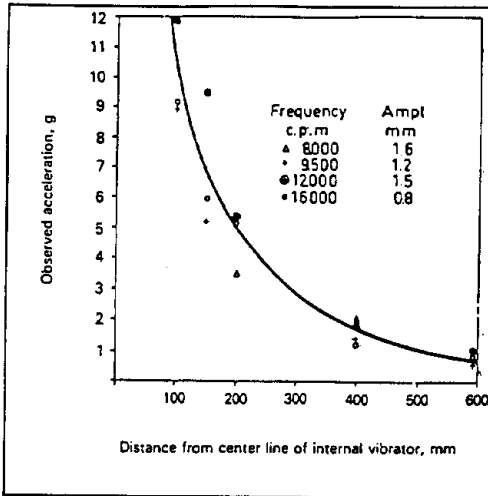
Når staven stikkes ned i et betonlag fortrænges et betonvolumen bestemt af diameteren (d) af staven og stavens længde (S). Det betonvolumen, der effektivt kan vibreres, er bestemt af vibratorens rækkevidde (D) og stavens længde (S), se figur R4. Hvis det effektive betonvolumen er proportionalt med det fortrængte betonvolumen, er vibratorens rækkevidde (D) proportional med stavens diameter (d). Denne sammenhæng anvendes traditionelt og er almindeligt accepteret.



Figur R4 Nedstik og lagtykkelse

Stavens frekvens dæmpes, når den arbejder i beton sammenlignet med frekvensen målt i luft, frekvensen vil normalt reduceres med 20 til 30% /3/.

Fra stavens overflade udsendes trykbølger, som forplanter sig cirkulært i betonmassen. Trykbølgerne dæmpes kraftigt ved udbredelsen i betonen, dæmpningen målt ved accelerationsmåling er uafhængig af frekvensen ifølge /3/, se figur R5.



Figur R5 Målte accelerationer i forskellige afstande fra stavvibratoren

Bølgehastigheden i beton er ca. 150 m/sek, med en bølgelængde på 0,75 m ved en frekvens på 200 Hz ifølge /3/.

Accelerationsniveauet ved stavens overflade er meget højt, ved store amplituder op til 2000 m/sek². Accelerationniveauet i betonen reduceres kraftigt umiddelbart ved stavens overflade, idet der dannes et pasta/mørtellag rundt om stavens overfladen ifølge /3/.

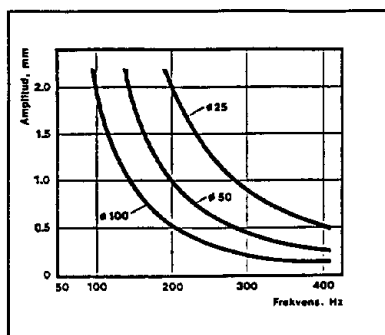
Accelerationniveauet i betonen falder med afstanden fra staven ud til en afstand på 10 til 15 gange stavens diameter i uarmeret beton, hvor accelerationen kommer under 10 m/sek². Forssblad /6/ anbefaler en minimumsacceleration på 10 m/sek² i letflydende betoner og 30 m/sek² i stive betoner.

Betonens stenstørrelse har betydning for den nødvendige acceleration. Forssblad anbefaler at stavens diameter ikke bør være mindre end den største stenstørrelse, men anbefaler også at dette undersøges yderligere.

Accelerationsniveauet bør formentlig være dobbelt så højt for $d_{\max} = 8$ mm som for $d_{\max} = 32$ mm.

Rækkevidden af en stavvibrator reduceres ofte til op mod 50% i armeret beton /6/. Der er ikke i den undersøgte litteratur givet nogle direkte måleresultater på dette vigtige område.

Hvis trykbølgen fra stavvibratoren giver et tryk, der overstiger betontrykket, vil dette medføre kavitation, hvilket betyder at staven producerer luftansamlinger i betonen i stedet for at uddrive den eksisterende indkapslede luft. Sammenhæng mellem frekvens, amplitude og vibratorstørrelse (d) er angivet af /3/ og /6/ med henvisning til samme undersøgelse, se figur R6.



Figur R6 Sammenhæng mellem frekvens, amplitude og vibratorstørrelse (a)

Diagrammet giver for den almindelige frekvens 200 Hz, at amplituden bør være mindre end 0,5 mm for stave med en diameter på 100 mm og mindre end 1,0 mm for stave med en diameter på 50 mm.

Formens sværhedsgrad

Ved formens sværhedsgrad forstås kompleksiteten af den færdige form med armering, forspændingskabler, kølerør, varmetråde, indstøbningsdele og udspæringer. Begrebet er meget sparsomt beskrevet i den undersøgte litteratur.

Som tidligere nævnt angiver /3/, at stavvibratorens rækkevidde kan halveres i armeret beton sammenlignet med uarmeret beton.

De i tabel 1 angivne værdier er vejledene værdier, der er angivet i Anlægsteknik /5/ som mandtimeforbrug ved støbning af forskellige konstruktionstyper.

Konstruktionstype	Armeringsmængde kg pr. m ³	Mandtimeforbrug timer pr. m ³
Fundamenter	80	1-4
Vægge, søjler og plader	110	3-6
Bro, underbygning	20	2-5
Bro, overbygning	120	5-8
Bro, buer	180	10-15

Tabel 1 Produktionsydelser

Ovenstående produktionydelser omfatter alle operationer ved støbningen og ikke kun vibrering.

Anlægsteknik /5/ er snart 30 år gammel, og ydelserne kan formentlig ikke anvendes med dagens mekaniseringsgrad, men siger alligevel noget om, hvorledes sværhedsgraden af form og armering kan variere fra 1 til 15.

Det er ikke ualmindeligt at anvende armeringsmængder af størrelsen 200 til 300 kg/m³ i moderne anlægsarbejder, og vibreringsteknikken med stavvibrator er ikke ændret meget i de forløbne 30 år.

Betonens sværhedsgrad

Ved betonens sværhedsgrad forstås betonens flydeegenskaber under vibrering bestemt ved betonens egenskaber.

Betonens sværhedsgrad eller rheologi er grundigt undersøgt og beskrevet i litteraturen, i /3/ er givet en udmærket historisk oversigt over resultaterne.

Ritchie /3/ opdeler betons rheologi i 3 hovedparametre:

- stabilitet
- komprimerbarhed
- flydeegenskaber

Ved stabilitet forstås evnen til at modstå bleeding og separation. Vi kan måle og kontrollere disse parametre.

Ved komprimerbarhed forstås hvor høj en densitet, der teoretisk kan opnås. Ud fra betonens sammensætning ved vi, hvad den opnåelige densitet er.

Flydeegenskaberne defineres ved parametrene friktionsvinkel, kohæsion og viskositet.

Friktionvinkel og kohæsion er kendte parametre fra geotekniken, som kan måles på jordfugtige betoner med standardmetoder.

Ved vibrering af beton elimineres friktionsvinklen, og tilbage til at karakterisere betonen, som tung væske, er kohæsionen og viskositeten.

Disse parametre fører direkte over i Bingham modellen, som er en matematisk model for faststofvæsker, der beskriver væskens flydeegenskaber ved 2 parametre flydespændingen (kohæsionen) og den plastiske viskositet.

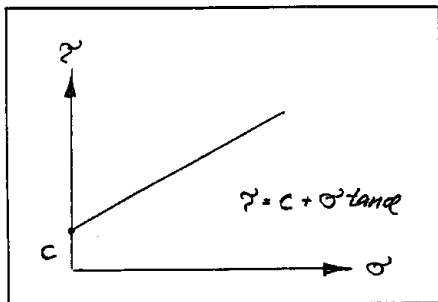
Tattersall /3/ har undersøgt denne model udførligt i sin "2-point testing method". Der henvises til HUA-2, Opgave 1, Bearbejdighed for yderlig information om metode og resultater.

Der findes to modeller for frisk beton, der teoretisk kan beskrive dens opførsel:

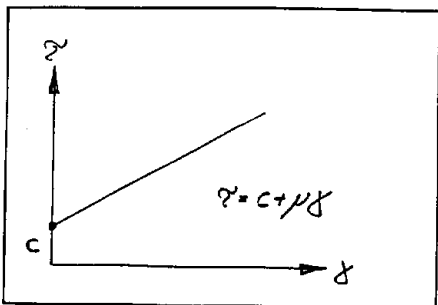
-Jordfugtig beton ved friktionsvinkel og kohæsion, se figur R7.

-Plastisk og flydende beton ved viskositet og kohæsion, se figur R8.

Kun plastisk og flydende beton er aktuel for HUA-2 projektet.



Figur R7 Rheologisk model for jordfugtig beton



Figur R8 Rheologisk model for plastisk og flydende beton

Praktisk rheologi

Betonet med højt finstofindhold får en høj kohæsion. I /3/ betegnes den som "sticky and sluggish", hvilket kan oversættes til "klistret og træg". Anvendelsen af mikrosilica, flyveaske og andre finstoffer er ikke behandlet i /3/.

I /4/ angives, at mikrosilica kræver et højere sætmål for at opnå samme bebejdelighed, for flyveaske kan et lavere sætmål anvendes.

Erfaringen fra Storebæltsprojekterne med 3-pulver beton og lavt vandindhold er, at betonen skal holdes letflydende for at få en sikker komprimering af betonen. Hvis betonen ikke gøres letflydende ved høje doseringer af plastificerende tilsætningsstoffer, bliver den meget klistret og sej (kohæsiv). Desværre holder tilsætningsstofferne kun betonen flydende i kort tid, og det er derfor afgørende for kvaliteten, at betonen placeres og vibreres, mens den er letflydende. Hvis betonen bliver for gammel før den anvendes, bliver den endnu mere klistret og sej end, hvis der fra begyndelsen var anvendt for lidt plastificeringsstof.

De almindeligt anvendte prøvningsmetoder sætmål og udbredelsesmål giver kun et relativt mål for bearbejdigheden og giver ikke et mål for hvor megen vibreringsenergi, der skal anvendes ved komprimeringen. Den nødvendige vibration (nedstiksafstand og vibreringstid) må fastsættes ved prøvestøbninger. Sætmål og udbredelsesmål kan derimod for den enkelte beton under produktion anvendes til at kontrollere, at bebejdeligheden indenfor en hvis tolerance er konstant.

Overfladekvaliteten

Vibreringsarbejdet vurderes traditionelt ved den visuelle kvalitet af de afformede overflader.

Følgende overfladedefekter relateres traditionelt /8/ til vibreringen:

- stenreder
- sandstriber
- luftblærer

Stenreder, se figur R9, er klare tegn på, at der er vibreret for lidt, hvis der overhovedet er vibreret.

Sandstriber, se figur R10, som er forårsaget af vandansamlinger ved forsisiden, kan som andre separeringer af betonen være tegn på overvibrering, men kan også være tegn på at betonsammensætningen er ustabil (bleeding).

Luftblærer i overfladen, se figur R11, anses normalt for at skyldes mangelfuld vibrering eller anvendelse af forkert formolie.

Vibrerende forsisider kan tiltrække luftbobler, og for kraftig en stavvibrator kan ved kavitation danne luftbobler. Der er således ingen direkte sammenhæng mellem antallet af luftblærer i overfladen og den anvendte vibrering.

I den undersøgte litteratur er der ingen undersøgelser af betonens indre struktur og luftporesystem sammenholdt med vibreringsmetoder og luftblærer i overfladerne.

Hvis vibreringsbehovet alene vurderes ved overfladernes udseende, er der stor fare for, at betonen overvibreres for at fjerne luftblærer i overfladen, og samtidig skaber en dårlig struktur i betonens indre.

Figur R9

Stenreder



Figur R10

Sandstriber



Figur R11

Luftblærer



Literaturfortegnelse

- /1/ High Performance Concrete for Exposed Civil Works Structures
State-of-the-Art Report
Dansk Betoninstitut A/S 1993
- /2/ Planlægning og udførelse af støbning og efterbehandling
Jens Frandsen
A/S Storebæltsforbindelsen 1992
- /3/ Standard Practice for Consolidation of Concrete
ACI 309-72, revised 1982
- /4/ Komprimering af beton, Knud Bækmark
Beton-Teknik 6/11/1985
- /5/ Overslag og Kostkontrol, Anlægskundskab Bind F
Jespersen, Borrit, Malling og Gaardslev
Akademisk Forlag 1967
- /6/ Betonvibreringens reologi och mekanism, Lars Forssblad
Nordisk Beton 4: 1978
- /7/ Need for Consolidation of Superplasticized Concrete Mixes,
Lars Forssblad
Conference Paper
- /8/ Appearance Matters 3, The Control of Blemishes in Concrete
William Monks
C&CA 1981

COWiconsult
Rådgivende Ingeniører AS
Parallelvej 15
2800 Lyngby

Luftindholdsstabilitet

HUA-2 projektet.

Højkvalitetsbeton til udsatte anlægskonstruktioner

af

Civilingeniør, lic. techn. Mette Geiker

Juli 1995

I.	Indledning	31
II.	Krav	32
III.	Beskrivelse af luftindholdsstabilitet	32
	A. Luftindblanding	33
IV.	Litteratursammenfatning	33
V.	Materialer og støbninger	35
VI.	Målinger	35
	A. Luftindhold	35
	B. Skumstabilitet	36
	C. Hydrauliktryk og betontryk	37
VII.	Resultater fra prøvestøbningerne, sammenfatning	37
VIII.	Konklusion	39
IX.	Referencer	40

**Luftindholdsstabilitet
HUA-2 projektet,
Højkvalitetsbeton til udsatte anlægskonstruktioner**

I. Indledning

Fase I af Dansk Betoninstitut A/S's projekt "Højkvalitetsbeton til udsatte anlægskonstruktioner" (HUA) omfattede en analyse af udførelsen af udvalgte større bygværker. Denne fase førte til identifikation af typiske udførelsesmæssige problemområder i forbindelse med blanding, transport, udstøbning, komprimering og hårdning af højkvalitetsbetoner (Ref. 1). I sommeren 1994 påbegyndtes Fase 2 af projektet. Det overordnede formål med denne projektfase har været at tilvejebringe en anvisning, der skal afhjælpe kvalitetsproblemer i forbindelse med udførelsen af anlægskonstruktioner. Bl.a. kravene til luftporestrukturen i den hårdnede beton har vist sig vanskelige at opfylde.

Formålet med opgave 7, luftindholdsstabilitet, har været at give retningslinier for:

- betonens sammensætning
- maksimalt tilladeligt pumpetryk
- maksimalt tilladelig vibrering (vibreringsbehov)

således at den krævede luftporestruktur kan opnås i den færdige konstruktion.

Til belysning af ovennævnte er der foretaget prøvestøbninger med udvalgte blandinger. Prøvestøbningerne har skullet tilgodeses ønsker fra følgende af HUA 2's opgaver:

- Opgave 3 Bearbejdelighed
- Opgave 4 Vibreringsbehov
- Opgave 5 Klæbrighed
- Opgave 6 Skorpedannelse
- Opgave 7 Luftindholdsstabilitet

- Opgave 8 Afbindingstid
- Opgave 9 Formtryk

Det har desværre ikke været muligt at variere tilslaget. Tilslagets indflydelse på luftporestrukturen er emnet for et igangværende projekt under MUP-2 (Materiale UdviklingsProgrammet, fase 2). MUP-2-projektet, der udføres af Unicon Beton A/S og Dansk Teknologisk Institut, blev påbegyndt i efteråret 1994 og forventes færdigt sommeren 1996.

Til supplement af prøvestøbningerne er der foretaget en literaturgennemgang (Ref. 2) og afprøvning af skumstabiliteten af de valgte tilsætningsstoffer (Ref. 3). Som en del af projektet er der endvidere udviklet udstyr til samtidig, automatisk registrering af hydraulik- og betontryk under pumpning.

II. Krav

Til anlægskonstruktioner udsat for frost/tø-påvirkning specificeres normalt anvendelse af luftindblandet beton. De aktuelle krav varierer, jf. Tabel 1, men alle udtrykker ønsket om tilstedeværelse af mange, jævnt fordelte, små bobler, samt tilstedeværelse af så få store bobler som muligt, da disse ikke bidrager væsentligt til frostbestandigheden, og da luft mindsker trykstyrken (1% luft medfører et tab på 4-5%).

I de seneste specifikationer til udsatte anlægskonstruktioner er kravene til luftporestrukturen, som er vikarierende for krav til frostbestandigheden, erstattet med egentlige funktionskrav. Anvendelse af funktionskrav, som i princippet er at foretrække, hviler på antagelsen om, at de anvendte prøvningsmetoder og specificerede acceptkriterier er pålidelige og repræsentative.

III. Beskrivelse af luftindholdsstabilitet

Et stabilt luftindhold beskrives som et luftindhold, der både i mængde og porestørrelsesfordeling bibeholdes under transport, udstøbning, vibrering og hældning.

I praksis er et stabilt luftindhold synonymt med et luftindhold i hældnet beton, der er styrbart udfra press-ur-meter måling af luftindholdet i frisk beton. Uundgåelige variationer i sammensætning, transport og udførelse må ikke påvirke luftporestrukturen nævneværdigt.

A. Luftindblanding

Under blandeprocessen vil der altid forekomme en vis indblanding af luft. Betonen opnår herved et såkaldt naturligt luftindhold, der typisk er 1-1,5 % af betonvolumenet. Dette naturlige luftindhold består overvejende af relativt store, uregelmæssigt formede og fordelte luftansamlinger, der er indkapslet i betonen. Det naturlige luftindhold vil kun i ringe grad forbedre betonens holdbarhedsmæssige egenskaber.

Luftindblandende tilsætningsstoffer ændrer disse forhold på to måder (Ref. 4):

- De nedsætter vandets overfladespænding, således at der under blandingen dannes et stort antal små luftbobler, fordelt ensartet i kitmassen.
- De stabiliserer de dannede luftbobler, således at disse får mindre tendens til at forenes i større bobler, der kan undslippe betonen under transport, støbning og vibrering.

Luftindblandende tilsætningsstoffer er således ikke skumdannende. De stabiliserer "blot" bobler, der er dannet under blandingen. Boblerne dannes ved indfoldning som følge af selve blandingen/æltningen og ved indfangning mellem de fine tilslagspartikler.

IV. Litteratursammenfatning

I dette afsnit er oplysninger fra litteraturen sammenfattet, jf. Ref. 2.

Afstanden mellem luftboblerne (afstandsfaktoren) anses for den betydende parameter for frostmodstandsevnen. Den kritiske afstandsfaktor afhænger af betontypen. Der er ingen entydig sammenhæng mellem luftindhold og afstandsfaktor. Desværre er det primært informationer om indflydelsen af diverse parametre på luftindholdet, der er publiceret.

Fysiske parametre (kornkurve, cementindhold, kohæsion, etc.) har større indflydelse på effekten af luftindblandende tilsætningsstoffer end kemiske parametre, bortset fra at visse tilsætningsstoffer modvirker hinanden.

Sandet har en betydelig indflydelse på luftporestrukturen i luftindblandet beton, specielt i blandinger med lille pulverindhold. Sand med kornstørrelse fra 0,15-0,6 mm regnes for de mest effektive "luftindfangere".

Bearbejdigheden har indflydelse på luftindholdet, i mindre grad på afstandsfaktoren.

Flyveaske, der kræver en stor dosis luftindblandingsstof pga. højt kulstofindhold, giver ofte en mindre stabil luftporestruktur. Mikrosilica gør ofte betonen mere klæbrig, hvilket forventes at have en stabiliserende indflydelse på luftindholdet.

Valget af luftindblandingsmiddel har stor betydning for luftporesystemet, ikke blot i den friske beton, men også i den hærdnede beton, dvs. at stabiliteten også påvirkes.

Doseringsrækkefølgen af tilsætningsstoffer har betydning for virkningen. De plastificerende stoffer har ofte en større affinitet til cementkorn end luftindblandingsstoffer og modvirker således de luftindblandende stoffer mht. stabilisering af den indblandede luft. Skumdæmpende plastificeringsmidler bør undgås i luftindblandede betoner. Superplastificering medfører ofte en forgrovning af poresystemet, der dog ikke nødvendigvis fører til formindsket holdbarhed. Overdosis af plastificerende stof ødelægger luftstabiliteten, og afstandsfaktoren øges.

Under transport reduceres luftindholdet. Det er normalt de store porer, der forsvinder, men lufttabet afhænger iøvrigt af transportmåde, tid samt luftindblandingsstoffet. Pumpning formindsker således typisk luftindholdet. Lufttab mellem 0,1 og 3,1 procentpoint i forbindelse med pumpning er observeret ved støbning af større danske transportanlæg, jf. Ref. 1.

Hurtig udstøbning og fald fra stor højde kan medføre øget indkapsling af grov luft.

Øget vibrering reducerer luftindholdet og øger den specifikke overflade. Afstandsfaktoren påvirkes dog ikke nævneværdigt af overvibrering. Foruden indflydelse på luftporestruktur har vibrering også indflydelse på betonens mikrostruktur. Defekter og porøsiteter i kontakt med omgivelserne kan også have betydning for betonens frostmodstand.

V. Materialer og støbninger

Prøvestøbningerne kan opdeles i tre serier, jf. Tabel 2 og Ref. 5. Støbningerne blev foretaget af Great Belt Contractors, GBC, ved deres betonlaboratorium i Kalundborg.

Materialedata samt oplysninger om betonsammensætninger, den friske betons egenskaber, adiabatisk varmeudvikling og trykstyrker findes i Ref. 6. Alle blandingerne blev proportioneret med 5,5% luft efter pumpe, undtagen bl. 28, der blev proportioneret med 8,5% luft efter pumpe.

Ved de fleste af støbningerne blev betonen pumpet via en 42 m pumpe. En 32 m pumpe blev anvendt ved den første støbning (bl. 1-14), og ved forsøg 7 blev 5 forskellige blandinger pumpet gennem en 42 m pumpe forbundet med ca. 70 m rør, der var udlagt på jorden, bortset fra de sidste par meter, hvor betonen blev pumpet 3,5 m lodret og 1 m vandret op i en betonbil, hvorfra den blev udstøbt.

VI. Målinger

A. Luftindhold

1. Luftindhold i frisk beton

Luftindholdet er af GBC målt med pres-ur-meter efter blanding, (før) og efter pumpe samt evt. i forbindelse med efterdosering af superplastificeringsmiddel.

Luftporestrukturen er af GBC målt med Dansk Beton Tekniks (DBT) luftporemåler i frisk beton som ovenfor samt i beton udtaget i den udstøbte konstruktion efter (pumpning og) vibrering. Prøver af frisk beton udtages (i trillebør), fyldes i press-ur-meter og vibreres, hvorefter prøven til luftporemåling udtages fra press-ur-meterbeholderen ved at bore en 20 ml sprøjte ned i betonen. Betonprøven overføres til bunden af et væskefyldt cylinderglass gennem en sluse i den nederste del og omrøres. Herved frigives luftboblerne og stiger til vejrs, de største hurtigst. Luftboblerne opsamles under en plade i toppen af glasset, og ændringen i opdrift som funktion af tiden registreres. På denne måde måles luftboblernes størrelsesfordeling. Afstandsfaktor og specifik overflade beregnes på basis af luft med kordelængder mindre end 2 mm.

For luftindhold i området 4-6% er præcisionen af luftindholdsbestemmelse vha. press-ur-meter normalt +/- 0,5 procentpoint. Præcisionen af bestemmelserne vha. DBT luftporemåler er for luftindhold bedre end $\pm 10\%$, og for specifik overflade og afstands faktor $\pm 5-10\%$ (Ref. 7).

Totalt luftindhold bestemt ved press-ur-metermålingerne er ikke altid større end ved DBT luftporemålingerne (< 2 mm), udført på prøver udtaget i press-ur-metret efter vibrering, men før måling. Årsagen til dette kan være en uensartet luftporefordeling, der vill have størst indflydelse på målinger foretaget på små prøver (luftporemålingerne).

2. Luftindhold i hærdnet beton

Luftindholdet, samt afstands faktor og specifik overflade i hærdnet beton er bestemt iht. TI-B 4 og ASTM C457 af Dansk Beton Teknik A/S. Luftporestrukturen er bestemt på 100×100 mm slib placeret ved og vinkelret på prøvestøbningernes overflade. Luftporeparametrene beregnes på basis af en tælling af antallet af luft/pasta grænser og den samlede længde af luftporer, der skæres, registreret i 40 parallelle linier svarende til i alt 3,2 m. Afstands faktor og specifik overflade beregnes efter de to metoder ud fra hhv. totalt luftindhold og luft med korde-længder < 2 mm. Beregnes den specifikke overflade iht. ASTM C457, fås tilsvarende eller lidt højere værdier. For sammenligning med luftporestruktur i frisk beton er derfor anvendt data beregnet iht. ASTM C457.

Præcisionen af bestemmelserne er for luftindhold $\pm 10\%$ og for specifik overflade og afstands faktor $\pm 5-10\%$ (Ref. 7).

Værdierne af luftindhold som % af kitmasse er baseret på bestemmelse af luftindholdet i betonen og skønnede værdier af stenindholdet i luftporeslibet samt et antaget konstant sandindhold.

Agglomerering af luftporer, bl.a. ved stenene, er vurderet af Dansk Beton Teknik A/S i forbindelse med mikrostrukturanalyser af tyndslib.

B. Skumstabilitet

Bestemmelse af skummængde og -stabilitet er også foretaget som en del af HUA 2, opgave 7, for at belyse effekten af de til prøvestøbningerne udvalgte luftindblandingsstoffer i kombina-

tion med de udvalgte plastificerende stoffer og cementer. Skummet i et måleglas med en fortyndet opløsning af de aktuelle tilsætningsstoffer (evt. i kombination med den aktuelle cement) måles efter, at måleglasset er rystet grundigt. Resultaterne findes i Ref. 3.

Metoden synes anvendelig til en relativ vurdering af mulige kombinationer af delmaterialer.

Idet runde, tykvæggede luftporer anses for at være mest stabile, er der i Ref. 8 foruden undersøgelse af skummængden og -stabiliteten af denne også foretaget undersøgelse af skumdensitet samt porevægstykkelse og poreform ved mikroskopi. En sådan dyberegående undersøgelse af det dannede skum har ikke kunnet udføres inden for rammerne af opgave 7. Der er dog i forbindelse med skumstabilitetsmålingerne foretaget en beskrivelse af det dannede skum og taget enkelte fotos, jf. Ref. 3.

C. Hydrauliktryk og betontryk

Der er udviklet udstyr til samtidig, automatisk registrering af hydraulik- og betontryk under pumpning. Hydrauliktrykket måles vha. en tryktransmitter. Betontrykket måles vha. strain gauges, der er klæbet på pumperørets ydre og kalibreret.

Betontrykket er endvidere målt (visuel registreret) vha. af et manometer udlånt af Dansk Beton Teknik A/S. Manometret er monteret på en studs, der er svejset på et lille rørstykke, som kan monteres som en del af pumpearmen.

Ved forsøg 7 blev 2 x 1,5 m³ pumpet ved samme tryk, det første læs blev kasseret, mens det andet blev udstøbt. På denne måde sikredes, at den udstøbte beton var pumpet med det målte pumpe-tryk. Dette var ikke muligt for de øvrige forsøg, hvorfor pumpe-trykket for den aktuelle beton skal aflæses på kurverne for et eller flere af de lag, der er udstøbt forinden.

VII. Resultater fra prøvestøbningerne, sammenfatning

Seksten forskellige betonblandinger, jf. Tabel 2, er udstøbt på forskellig vis. Luftporestrukturmålingerne er rapporteret i Ref. 5. Baseret på prøvestøbningerne kan følgende sammenfatning gives.

Beregning af afstandsfaktor og specifik overflade er foretaget iht. ASTM C457 (luftporer < 2 mm). Stort set alle tyndslibene af de hærtnede blandinger viser, at luftboblerne er agglomereret i større eller mindre omfang. Ved beregningen af luftporeparametre antages boblerne at være homogent fordelt. Luftporestrukturen forringes, hvis boblerne agglomerer.

Ved vurdering af data skal der tages forbehold for en evt. opblanding af betonen med beton fra laget nedenunder. Der iagttages endvidere i tyndslib af adskillige af blandingerne en betragtelig variation af v/c-forholdet.

Luftindholdet i figurerne er angivet som % af betonvolumenet.

I to af tre blandinger steg luftindholdet ved efterdosering af superplastificeringsmiddel.

Generelt tabes luft ved pumpning, jf. Figur 1. Blanding (7-18) viste ikke denne tendens. Størst lufttab blev observeret ved pumpning ved lavt tryk. Dette skyldes muligvis den længere opholdstid i pumpen.

Blandingerne med tilsætningsstoffer af mærket SIKA (bl. 7-22, 7-23) udviste mindre luftstabilitet end blandingerne med NBK-produkterne (bl. 7-18, 7-28), jf. Figur 1. Dette er i overensstemmelse med orienterende skumstabilitetsforsøg med de aktuelle tilsætningsstoffer og cementer, jf. Figur 2. Til gengæld støttes det ikke af en vurdering i tyndslib af luftboblernes agglomereringstendens.

Betonerne med SIKA-produkterne var lettere at pumpe end NBK-betonerne (større udbytte ved samme hydrauliktryk); men der var i den aktuelle blanding (7-22, 7-23) tilsyneladende ingen effekt af det pumpeforbedrende tilsætningsstof, jf. Figur 3.

Luftporer i alle størrelser tabes ved vibrering (typisk 30 sek).

Der er ikke fundet nogen overensstemmelse mellem forskellen på luftporestrukturen i det nederste og det øverste lag af 2,5 m høje vægge støbt af tre forskellige blandinger, jf. Figur 4. Formtryksmålinger indikerer, at trykket bliver størst midt på væggen. Luftporestrukturen er ikke undersøgt på kerner herfra. Der synes heller ikke at være en entydig indflydelse på luftporestrukturen af positionen i det enkelte lag.

Ikke alle blandinger opfylder de gængse krav til luftporestrukturen, jf. Tabel 1. Det skal bemærkes, at pumpetrykket generelt har været lavt. Ved støbning af disse betoner var hydraulik-

trykket typisk 100-150 bar svarende til 10-15 bar betontryk målt 5 m fra pumpen.

Luftindholdet i blandingen med ren slaggecement var meget varierende.

Ovenstående sammenfatning må ikke opfattes som almenkyldige observationer, idet flere parametre ofte er varieret på samme tid ved de aktuelle prøvestøbninger. Endvidere var flere af betonerne urealistisk gamle sidst på støbedagen. Endelig er observationerne generelt ikke dubleret.

VIII. Konklusion

Et stabilt luftindhold er i praksis synonymt med et luftindhold, der er styrbart. Dvs. at uundgåelige variationer i sammensætning, transport og udførelse ikke påvirker luftindholdet og luftporestrukturen i den hærdnede beton nævneværdigt.

Faktorer ved betonproduktionen, der har indflydelse på luftindholdet og luftindholdsstabiliteten er bl.a.:

- Betonsammensætning
- Dosering
- Blanding
- Forurening med olie

Effekten af kombinationer af tilsætningsstoffer anbefales afprøvet i forbindelse med forprøvningen vha. en såkaldt skumtest. Tilslagetets kornstørrelsesfordeling og flyveaskens kulstofindhold bør søges holdt konstant under betonproduktionen.

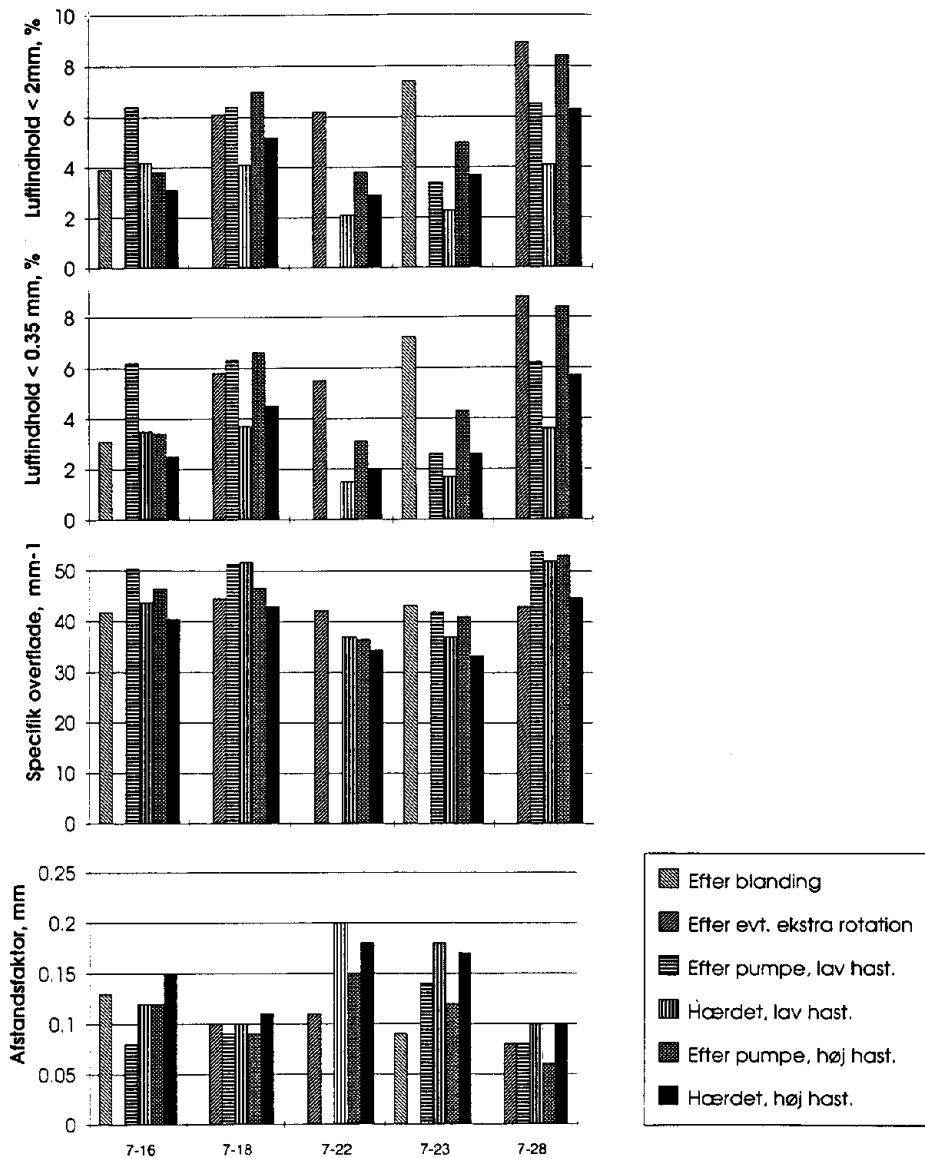
Faktorer ved udførelsen, der kan påvirke luftporestrukturen er bl.a.:

- Transport
- Efterdosering/kraftig rotation af betonkanon
- Pumpning
- Udstøbning, herunder vibrering
- Efterbehandling
- Formtryk (støbehastighed/afbinding)

Store sætmålstab bør undgås, idet vibreringsbehovet og hermed lufttabet øges. Pumpning bør foretages jævnt; både tryk og opholdstid har indflydelse på luftindholdsstabiliteten.

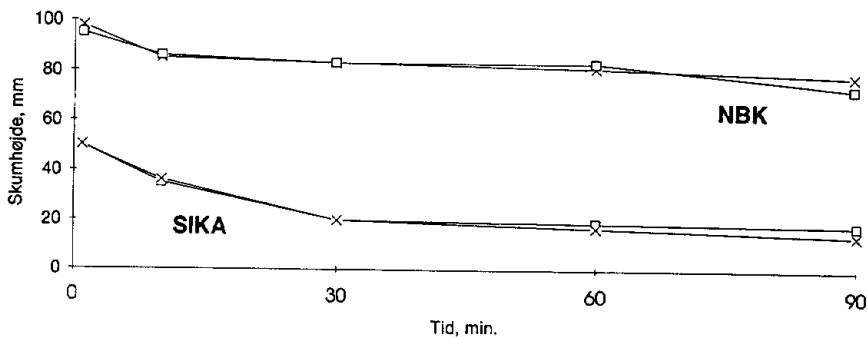
IX. Referencer

- 1 Høj kvalitetsbeton til udsatte anlægskonstruktioner, HUA 1. Dansk Betoninstitut A/S. 1994
- 2 Høj kvalitetsbeton til udsatte anlægskonstruktioner, HUA-2. Opgave 7. Luftindholdsstabilitet, Sammenfatning af litteratur. Dansk Betoninstitut A/S. Marts 1995
- 3 Høj kvalitetsbeton til udsatte anlægskonstruktioner, HUA-2. Datarapport V, Skumstabilitet. Dansk Betoninstitut A/S. Marts 1995
- 4 Ulla Kjær: Tilsætningsstoffer til beton. BKF-centralen, 1982.
- 5 Høj kvalitetsbeton til udsatte anlægskonstruktioner, HUA-2. Opgave 7, Luftindholdsstabilitet, prøvestøbninger, Kalundborg. Dansk Betoninstitut A/S. Marts 1995
- 6 Høj kvalitetsbeton til udsatte anlægskonstruktioner, HUA 2, Opgave 13 A, Prøvestøbninger, Kalundborg. Dansk Betoninstitut A/S. Februar 1995
- 7 Peter Laugesen, privat kommunikation
- 8 P.F. Gutmann: Bubble Characteristics as They Pertain to Compressive Strength and Freeze-Thaw Durability. ACI Materials Journal, Sep-Oct. pp. 361-366 (1988)



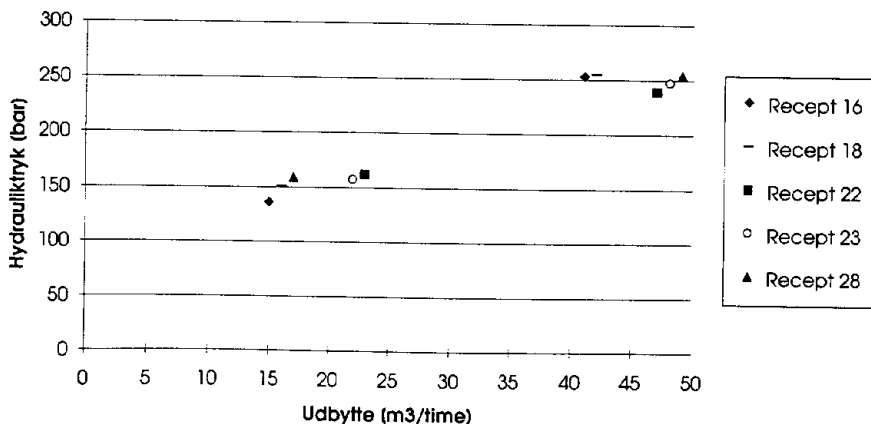
Figur 1

Indflydelsen af tilsætningsstoffer og pumpetryk på luftporestrukturen. NBK-produkter: Bl. 18 (5,5% luft), bl. 28 (8,5% luft) og bl. 16 (5,5% incl. Heidelbergkugler). SIKA-produkter: Bl. 23 og bl. 22 med/uden pumpeforbedrende tilsætningsstof.



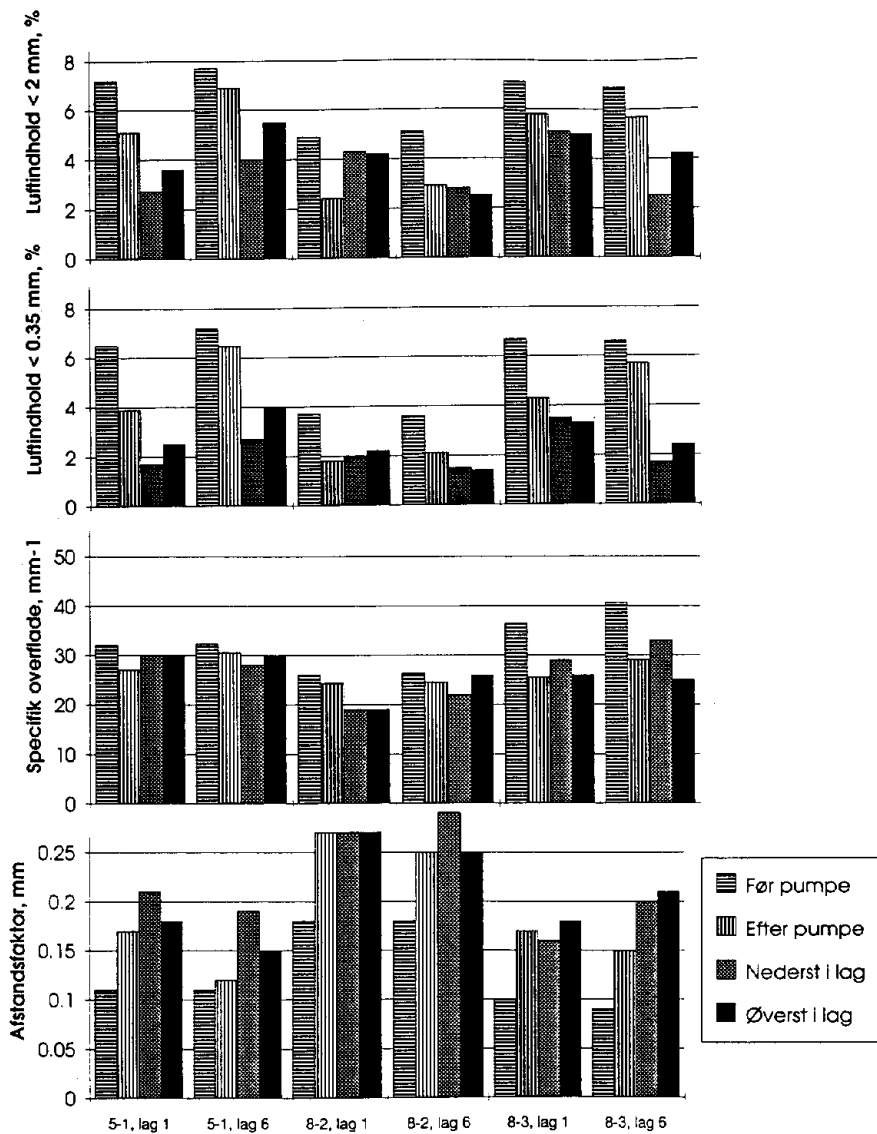
Figur 2

Skumstabilitet af vandige opløsninger af tilsætningsstoffer svarende til betonblandingerne 7-18 (NBK) og 7-22 (Sika). 1 g lavalkali, sulfatbestandig cement/50 ml vand er tilsat (dobbelbestemmelser).



Figur 3

Sammenhæng mellem hydrauliktryk og udbytte ved lavt og højt pumpetryk.



Figur 4

Indflydelsen af støbehøjden. Lag 1: Nederst i 2,5 m høj væg.
 Lag 6. Øverst. $v/c=0,35$: Bl. 5-01. $v/c=0,39$: 8-02. $v/c=0,45$:
 Bl. 8-03. (Trepulverblandinger; lavalkali, sulfatbestandig cement).

Tabel 1

Krav til luftindhold i beton til udsatte anlægskonstruktioner, eksempler (A/S Øresundsforbindelsen (landanlæg), Storebælt A/S (Østbro) og Vejdirektoratet) samt udfald af prøveemnerne (udvalgte vægge og blokke).

Egenskab	Enhed		ASØ	SBF	VD	Ud-land	Opfylder ikke, bl. nr.
Totalt luftindhold	% af kitmasse	Max	27	27	25		3-21
		Min	8	8	10		-
Luftindhold, < 0,35 mm	% af kitmasse	Max	20	20	-		3-21
		Min	8	8	-		5-01, lag 1 7-22 8-02 10-06
Luftindhold, > 0,35 mm	% af kitmasse	Max	7	7	-		3-21 10-06
Specifik overflade	mm ⁻¹	Min	25*	25*	25		8-02 (evt. flere *)
Afstandsfaktor	mm	Max	-	-	-	0,20	8-02 10-06

* Krav iht. TI-B 4. Data er beregnet iht. ASTM C457, som typisk giver 0-5 mm⁻¹ højere specifik overflade.

Tabel 2 Oversigt over prøvestøbninger.

Forsøg nr.		1	2	3	4	5	6	7		8			9		10		
Recept nr.		14	18	21	01	01	02M	16	18	22	23	28	02	03	4a	4	
Serie I Var. af vibrering og ...	Cementtype a)	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	A	A	S
	Flyveske	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
	Mikrosilica	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
	v/o-forhold, opnået	0,49	0,39	0,39	0,35	0,35	0,37	0,39	0,39	0,39	0,38	0,39	0,39	0,39	0,44	0,39	0,39
Serie II Var. af pumpetryk og ...	Tilsejringsstof- fabrikat b)	F	N	N	N	N	N	N, H	N	S	S	N	F	F	N	N	N
	Pumpeforbedren- de stof										+						
	Luftindhold, flistrebte	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	8,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Serie III 2,5 m høje forme	Var. af vibrering og sammensætning (v/b)												x	x			

a) L: Lavalkali, sulfatbestandig cement, A: Anlægnscement, S: Slæggement
b) F: Fosroc; N: NBK; S: Sika; H: Heidelbergkugler (små plastikugler)

**Unicon Beton
Køgevej 172
4000 Roskilde**

Introduktion til :

**MUP2
Optimering af betonarbejde
Pakningsanalyser som værktøj til dimensionering af luftporestruktur**

**civiling. Ib B. Jensen &
akademik. Jan Frandsen**

Juli 1995

Pakningsanalyser som værktøj til dimensionering af luftporestruktur

Under "90'ernes materialeteknologi og -forskning" (MUP2) er der i samarbejde mellem Unicon Beton I/S og DTI•Betoncentret iværksat et projekt med ovenstående titel.

Projektidé

Betonproducenter skal på baggrund af de krav, bygherren stiller, sammensætte og optimere en recept til projektet. En prøvestøbning udført i samarbejde mellem betonproducent og entreprenør skal så efter vise, at de stillede krav er opfyldt.

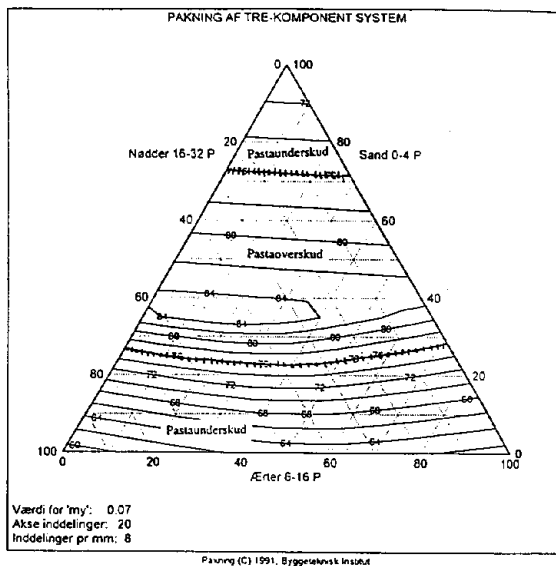
Blandt de krav, der typisk stilles, er krav om frostbestandighed. For at opnå en frostbestandig beton, skal materialet have et fintfordelt luftporesystem. Kun luftporer i størrelsesordenen 5 - 200 μm har en gunstig virkning på frostbestandigheden, eller sagt med BBB's ord: Den specifikke overflade skal være $\geq 25 \text{ mm}^{-1}$.

For at opfylde kravene findes der en række operationelle proportioneringsværktøjer - dog ikke til at opnå et finfordelt luftporesystem. Her har man hidtil været henvist til en gentagelse af prøvestøbningen, hvis luftporestrukturen ikke var i orden.

DTI•Betoncentret har udviklet et PC-baseret beregningsværktøj til optimering af tilslags sammensætning og bindemiddelmængden i beton - et pakningsprogram.

Optimering af tilslagssammensætningen v.h.j.a. pakningsprogrammet giver mulighed for at bestemme den mængde bindemiddel, der netop skal bruges for at udfylde hulrummet mellem de enkelte korn. Erfaringer viser, at det ser ud til at være muligt at vælge en pakning af tilslagsmaterialer og en pastamængde, som lige netop efterlader et finfordelt system af hulrum, hvor luftporesystemet kan etableres. Et således mekanisk dannet luftporesystem vil være potentielt mere stabilt end et rent kemisk dannet system. Dette betyder, at problemer med luftporestabilitet under vibrering, pumpning eller hydraulisk tryk vil kunne mindskes.

Projektets målsætning er at demonstrere i hvilken grad, det alene ved optimering af tilslagsmaterialernes sammen sætning er muligt at fremstille et cementbaseret materiale med et stabilt og robust luftporesystem, der har den ønskede luftporefordeling, og som derfor med sikkerhed kan opfylde de af bygherren stillede krav.



Eksempel på pakningsdiagram med tre komponenter :

I det nederste område af pakningstrekanten er der stenoverskud, mens der i det øverste område er sandoverskud. Med sandoverskud bliver pastaunderskuddet finfordelt, mens det er grovfordelt ved stenoverskud.

Status

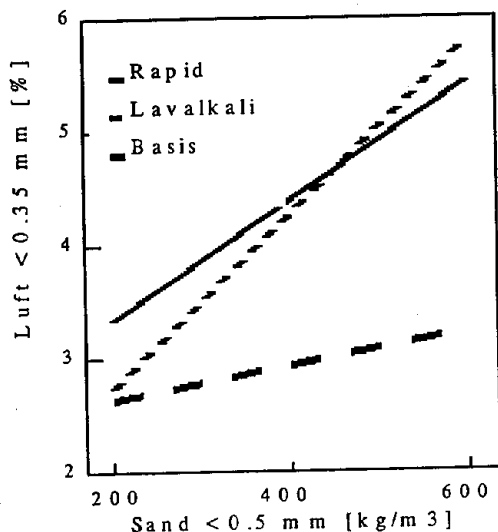
Projektet blev indledt med en screening af litteraturen, hvor det bl.a. blev fundet, at indholdet af luft med optimal boblestørrelse er afhængig af indholdet i fraktionen 0.125 - 0.6 mm, ligesom den specifikke overflade øges med stort indhold i fraktionen 0.125 - 0.25 mm.

Der er desuden foretaget analyser af eksisterende prøvningsresultater fra beton fra Unicon Betons fabriksbetonanlæg. 207 luftpore-rapporter á 3 analyser og svarende til ca. 600 betonkerner er undersøgt. Prøverne er udtaget fra produktion geografisk fordelt over stort set hele landet, og repræsenterer derfor m. h. t. tilslag alle de kombinationer (sø, bakke, knust, jigg, stor og lille fillermængde o. s. v.), som er på markedet. Qua denne brede og dybe repræsentation af forskellige tilslagskombinationer var således også forskellige pakningskombinationer til stede.

Granskning af resultaterne har vist tegn på, at projektideen holder. Prøverne er udført som

rutinemæssig kontrolprøvning af betonernes luftporestruktur, hvor der ikke er opsamlet tilstrækkelige data om de aktuelle blandingers kornkurve og pakning. Den foreliggende viden er desuden bl. a. afhængig, hvilke maskividder / standardsigter tilslagsleverandøren har anvendt eller prøvemetoden har foreskrevet. Måske er springene 0.075, 0.125, 0.25 og 0.5 mm ikke hensigtsmæssige eller tilstrækkelige.

Denne indledende fase er netop afsluttet.



Analyse af eksisterende prøvningsresultater:

Indhold af luft < 0.35 mm som funktion af indholdet af sand < 0.5 mm for tre cementtyper. (forenklet).

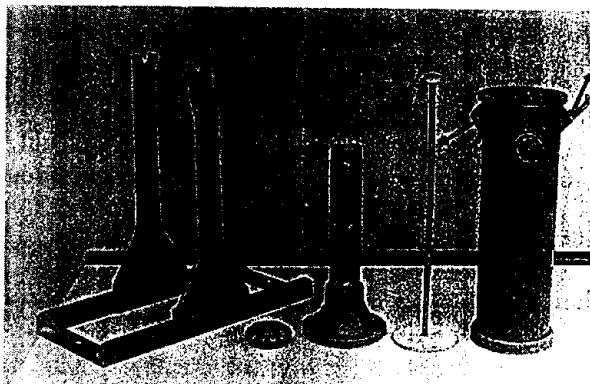
Næste fase er indledt. Formålet at dokumentere, at det er muligt at etablere en stabil luftporestruktur v.h.j.a. pakning.

På laboratoriesiden eksperimenteres med et cementbundet materiale med monodisperst glaskugler i tre størrelser som tilslag. Ved anvendelse af glaskugler opnås en idealiseret materialesammensætning, hvor både tilslagsform og øvrige pakningsparametre er fuldstændig kendte. Målet er at vise, om luftporemængde og -struktur kan fastlægges udelukkende v.h.j.a.

pakningsanalysen og uden brug af luftblandende additiver.

På fabriksbetonsiden er indledt en forsøgsrække, hvor der anvendes eksisterende recepter på flere fabrikker fordelt over hele landet. Dvs der bruges almindeligt forekommende tilslagsmaterialer, som i dag bruges til betonfremstilling. Her skal indflydelsen af tilslagsmaterialernes aktuelle variation analyseres og der bliver mulighed for at sammenholde de opnåede luftporestrukturer med målte værdier for tilslaget for de enkelte blandinger.

Samtidigt undersøges forskellige målemetoder til bestemmelse af luftindhold i frisk beton, idet pressuremetret sammenlignes med Meyer-air-metret, Meyermetret. Metoden bygger på at udvaske luften af betonen ved kraftig rulning for derefter at bestemme rumfangsformindskelsen. De foreløbige resultater viser, at for almindelige plastiske betoner er pressur-metermetoden fortsat fuldt ud anvendelig.



Meyer-meter

De fire bestanddele af et Meyer-air-meter

Der foreligger endnu ikke resultater fra forsøgene i denne fase, men hvis projektidéen fortsat kan bekræftes, er det planlagt at fortsætte med fuldskalaprøvning af teoretisk beregnet optimering af luftporestruktur. Fuldskalaprøvningen skal foretages i en producerende virksomhed.

Det er meningen, at arbejdet skal munde ud i en vejledning i fastlæggelse af krav til tilslagsmaterialer, for at der kan etableres et stabilt luftporesystem.

Hvis det allerede på skrivebordet kan afgøres, hvordan en frostsikker beton skal sammensættes, vil det være til gavn for alle.

Vejdirektoratet
Niels Juels Gade 13
1020 København K

Erfaringer med højstyrkebeton til broer

af
Erik Stoklund Larsen
Civilingeniør, Ph.D

Juli 1995

Indholdsfortegnelse	Side
1: Indledning	55
2: Udbudsmateriale	56
3: Valg af betonsammensætning	58
4: Varmeudvikling	60
5: Udførelse	60
6: Afsluttende kommentarer	61
7: Litteratur	61

Erfaringer med højstyrkebeton til broer

1. Indledning

Vejdirektoratet har gennem en årrække søgt at videreudvikle eksisterende brobeton og søge nye veje med hensyn til at udnytte ny viden på det betonteknologiske område. I forbindelse med opførelsen af to broer i Jylland, henholdsvis syd for Randers og ved Frederikshavn er anvendt den såkaldte højstyrkebeton. Højstyrkebeton har en væsentligt højere trykstyrke end den beton, der normalt anvendes til brokonstruktioner. Kravet til trykstyrken af betonen til de to broer er 50 % højere end den styrkegrænse, den danske betonnorm maksimalt dækker.

I udviklingen af bedre beton er man nået et stade, hvor det er muligt at proportionere og fremstille højstyrkebeton. Man kunne med rette i stedet for højstyrkebeton have valgt udtrykket beton med høj ydeevne. Fordi, det er netop ikke kun ved de høje trykstyrker denne beton har sine fordele, men også ved ekstrem tæthed over for indtrængende stoffer som f.eks. vand og chlorider, dvs. betonen ligeledes skulle udmærke sig ved en meget høj holdbarhed.

Vejdirektoratet har i større og mindre projekter været involveret i udviklingen af bedre beton og det var derfor naturligt at understøtte resultaterne fra det materialeteknologiske udviklingsprogram, "høj kvalitetsbeton i 90'erne" med opførelsen af en forsøgsbro nemlig overføringen af Stobdrupvej lidt syd for Randers.

Med opførelsen af Stobdrupvejbroen er der taget hul på en af de vanskeligste og vigtigste opgaver, nemlig beskrivelsen af metoder for proportioneringen af højstyrkebeton. I denne forbindelse er udgivet en rapport der beskriver erfaringerne med anvendelse af højstyrkebeton til Stobdrupvejbroen.

Stobdrupvejbroen blev projekteret som en almindelig bro, dvs at betonens høje styrke ikke blev taget i regning. Efterfølgende er dette forhold taget med ved udbud af Gadholtvejbroen ved Frederikshavn. Sigtet med opførelsen af denne bro er at få en dokumentation for at det er muligt at projektere broer under udnyttelse af højstyrkebetonens egenskaber og karakteristika.

Gadholtvejbroen er udformet som en buebro, der spænder over hele motorvejen uden søjler i midterrabatten. Erfaringerne herfra beskrives i en rapport der ventes udgivet ultimo 1995.

2. Udbudsmateriale

Det altoverskyggende krav var kravet om en karakteristisk trykstyrke på mindst 75 MPa efter 28 modenhedsdøgn. Krav om omfattende prøveblandinger og prøvestøbninger var gældende for begge broer.

Kontrolomfanget svarede til skærpet kontrol. Der blev for hver af broerne fremstillet en særlig arbejdsbeskrivelse for højstyrkebeton. Det vil her føre for vidt at komme ind på alle afvigelser og ekstrakrav i forhold til den almindelige arbejdsbeskrivelse, men kun omtale særlige krav til betonens trykstyrke, frostbestandighed og varmeudvikling under hærkning.

I SAB-teksterne for begge broer blev givet en vejledning som grundlag for at finde frem til en beton der tilfredsstillede de stillede krav.

Stobdrupvejbroen:	
Cement (kg/m ³)	320
Flyveaske (kg/m ³)	45
Mikrosilica (kg/m ³)	30
Vand (kg/m ³)	95
Tilslag (kg/m ³)	1900

Gadholtvejbroen:	I	II
Cement (kg/m ³)	350	400
Mikrosilica (%)	10	5
v/(c + 2ms)	0,3	0,3

Det primære krav til Stobdrupvejbroen var "opnåelse og bevarelse af en karakteristisk trykstyrke på mindst 75 MPa". Kravet om denne trykstyrkes opnåelse efter en modenhed på 28 døgn skulle eftervises såvel på støbte cylindre som på betonen i konstruktionen ved udtrækning med LOK-test eventuelt suppleret ved udtrækningsforsøg med CAPO-test. Det blev desuden krævet, at spredningen af de observerede styrker var lille. Dette blev formuleret som et tolerancekrav til en af entreprenøren erklæret trykstyrke:

- Målte cylindertrykstyrker = erklæret trykstyrke +/- 5 MPa.
- Målte udtrækkrafter = erklæret udtrækkraft +/- 7 kN.

Vurderingen af om disse krav blev opfyldt skete efter DS 423.1 udgave 2, 1985.

Gadholtvejbroen blev projekteret på basis af Norsk Standard 3473. Styrkeklasserne er i denne norm baseret på terningstyrker og det er vist at cylinderstyrker på 74 MPa svarer til styrkeklasse C 85 i normen. Der stilles i den norske standard endvidere krav til betonens trækstyrke, minimum 4,3 MPa svarende til en spaltetrækstyrke på 6,5 MPa. Dansk praksis er dog anvendt i videst mulige omfang, men i tilfælde hvor de norske krav, incl. prøvnings- og beregningsmetoder, medfører strengere krav, er disse anvendt.

Den væsentligste konstruktive fordel ved at anvende højstyrkebeton til brokonstruktioner er selvsagt betonens evne til at optage

større trykkræfter, hvorved dimensionen af trykbelastede konstruktionsdele vil kunne reduceres. Højstyrkebeton har en relativ mindre krybning samt en bedre evne til at optage forskydningskræfter, jf. NS 3473 hvoraf det fremgår at forskydningsbæreevnen stiger lineært med trykstyrken.

Af andre fordele af designmæssig karakter kan følgende nævnes, jf. NS 3473:

- Stødlængder for slap armering kan formindskes med stigende betonstyrker.
- Større trækspændinger kan tillades i urevne tværsnit, idet trækstyrken er en styrende parameter, der stiger med stigende trykstyrke.
- Bedre mulighed for at optage koncentrerede belastninger, f.eks. fra forankring af forspændingskabler.

Betonens trykstyrke aftager som bekendt med mængden af indblandet luft. Styrkenedsættelsen er ikke uden betydning når der fremstilles højstyrkebeton. Der vil i praksis ses en styrkereduktion på op mod 20 % med indblanding af normale luftindhold. For at undgå denne styrkereduktion bortfaldt kravet om at betonen skulle være luftindblandet.

I begge broers tilfælde blev den anvendte beton afprøvet efter den Svenske Standard 13 72 44 (Borås-metoden). Betonen til Stobdrupvejbroen udviste "meget god" frostbestandighed efter afprøvningen. Betonen til Gadholtvejbroen havde en accelerationsfaktor på 2,3 i henhold til metoden, hvilket er for højt i forhold til den maksimalt tilladte på 2. Betonen udviste en "god" frostbestandighed hvis man ser bort fra dette accelerationskrav.

Netop frostbestandigheden af højstyrkebeton synes stadig at være et uafklaret område, hvorfor der her skal opfordres til at igangsætte yderligere forskning og udvikling indenfor netop dette specifikke område.

AAB stiller krav til efterbehandlingen mht. beskyttelse mod fordampning, udvaskning, tidlig frysning, maksimal temperatur, tidlige belastninger samt temperatur differencer. Kravet til temperaturdifferencer var formuleret nogenlunde ens for begge broer:

- I hærdeperioden må betonens temperatur ikke overstige 50 °C.
- I hærdeperioden må forskellen mellem et betonmassivs gennemsnitstemperatur og den laveste overfladetemperatur i et tværsnit indenfor støbningen ikke overstige 15 °C.
- Forskellen (over et støbeskel) mellem middeltemperaturen af tidligere og af tilstødende nystøbte plader og/eller vægge må ikke overstige 12 °C.

Entreprenøren havde mulighed for at fravige kravene til temperaturdifferencer hvis følgende var opfyldt:

Stobdrupvejbroen: "Kravet kan afviges, såfremt det ved beregning under realistiske, og af tilsynet accepterede forudsætninger, kan eftervises, at betonen ikke derved får revnedannelse".

Gadholtvejbroen: "Temperaturdifferencer og svind må ikke forårsage trækspændinger i betonen, der overstiger dennes trækbrudstyrke. Entreprenøren skal eftervise dette krav ved spændingsberegning, som tager hensyn til temperaturdifferencer og svind, herunder også selvdutørringssvind (autogent svind) pga kemisk svind".

Tabel 1. Generalnoter for henholdsvis Vejreglerne almindelig arbejdsbeskrivelse (AAB), Stobdrupvejbroen og Gadholtvejbroen.

Komponent og egenskab	AAB	Stob- drupvej	Gadholt- vej
Cement	PC	PC	PC
Type i henhold til SBC 227	(A/BS/EA/G)	(A/BS/EA/G)	(A/BS/EA/G)
Sten			
Lette korn < 2400, max. (%)	1,0	1,0	-
Absorption af flint, max. (%)	1,1	1,1	-
Kubiske korn, min. (%)	70	70	70
Nom. max. kornstørrelse (mm)	32	32	20
Overkorn, max. (%)	-	5,0	10
Underkorn, max. (%)	-	5,0	10
Sand og underkorn fra sten			
Alkalireaktivt mat., max. (vol.%)	2,0	1,0	1,0
Alkaliekspansion, max. (%/uger)	0,1/8	0,1/20	0,1/20
Overkorn, max. (%)	-	5,0	10
Korn < 0,075 mm, max. (%)	3,0	3,0	3,0
Glimmerindhold, max. (%)	-	1,0	1,0
Frisk og hærdnet beton			
Trykstyrke min. (MPa)	35	75	75
Spåltetrækstyrke min. (MPa)	-	-	6,5
v/C-forhold, max.	0,45	0,35	0,40
Cement, min. (kg/m ³)	275	275	275
Flyveaske, min./max. (%)	-/20	10/15	-/20
Mikrosilica, min./max. (%)	-/10	5/8	-/10
Flyveaske + mikrosilica, max. (%)	25	-	25
Finmateriale, min. (kg/m ³ mørtel)	650	650	-
Kitmasseluft, max. (%)	25	7,0	7,0
Chlorid, max. (% af pulver)	0,2	0,2	0,1
Alkali, max. (kg/m ³ beton)	3,0	-	3,0

3. Valg af betonsammensætning

Valget af betonsammensætningen for de to broer er baseret på følgende vigtige aktiviteter:

- a) Valg af betonens delmaterialer, herunder cementtype, anvendelsen af flyveaske og mikrosilica, tilslagsmaterialer samt tilsætningsstoffer.

- b) Valg af betonsammensætning.
- c) Gennemførelse af prøveblandinger til dokumentation af betonens potentielle egenskaber og karakteristika.
- d) Gennemførelse af prøvestøbninger til dokumentation af betonens opnåede egenskaber og karakteristika i fuld konstruktionsstørrelse.

ad a). Her skal kort fremhæves valget af betonens tilslagsmaterialer samt udførelse af pakningsoptimering der prioriterer betonens bearbejdelighed og trykstyrke.

ad b). Ved valget af betonsammensætning er det vigtigt at optimere på alle niveauer, her tænkes specielt på parametre som tilslagets og kitmassens sammensætning. Valg af betonens delmaterialer og sammensætning foregår normalt samtidigt. Begge de anvendte betontyper har et ækvivalent v/c-forhold under 0,3 og deres sammensætning fremgår af tabel 2.

ad c) og d). Gennemførelsen af prøveblandingerne giver vigtig information om betonernes udvikling i trykstyrke og varme, samt sætmål og afbinding. Disse resultater danner grundlag for egentlige prøvestøbninger, der giver den praktiske viden om de udførelsesmæssige forhold.

Tabel 2. betonsammensætningen for de to højstyrkebetonbroer.

Delmaterialer	Stob- drupvej	Gadholt- vej
Cement (kg/m ³)	332	426
Flyveaske (kg/m ³)	48	--
Mikrosilica (kg/m ³)	32	30
Vand (kg/m ³)	116	128
Vandreducerende tilsætningsstoffer (kg/m ³)	16	13
Sand 0-4 mm (kg/m ³)	654	625
Sten 4-8 mm (kg/m ³)	373	276 ¹
Sten 8-16 mm (kg/m ³)	843	934
28 døgns middeltrykstyrke (MPa)	80	93

1) Stønstørrelse 2-8 mm

Proportioneringen af højstyrkebeton kan foregå på følgende måde: Der vælges en betonsammensætning, som forventes at få en trykstyrke tæt på, men dog under den tilstræbte værdi for trykstyrken. Dernæst vælges en anden betonsammensætning, som forventes at få en trykstyrke tæt på, men lidt over den tilstræbte værdi for trykstyrken. Prøveblandinger for de to betonsammensætninger gennemføres og trykstyrkerne bestemmes. Ved simpel interpolation mellem betonsammensætningen i de to tilfælde findes en ny beton til brug for en prøveblending. Det må forventes, at trykstyrken for den sidste betonsammensætning ligger tæt på det tilstræbte, men man kan i princippet fortsætte denne procedure indtil trykstyrken har den tilstræbte værdi med den ønskede nøjagtighed.

4. Varmeudvikling

Varmeudviklingen i højstyrkebeton ser ud til at følge de samme matematiske modeller som varmeudviklingen i traditionel brobeton.

Som en del af planlægningen af betonarbejdet blev der for begge broer foretaget en simulering af udviklingen og fordelingen af temperaturen i kritiske konstruktionsdele.

Simuleringerne dannede grundlag for valg af følgende forhold:

- Valg af isolering og placering af kølerør, således at de stillede krav til temperatur og temperaturdifferencer i betonen under hærdeningen overholdes.
- Placering af termoelementer, således at der kunne opnås en pålidelig dokumentation af kravenes opfyldelse.
- Støbetakten, således at temperaturforskelle kan begrænses.

Resultatet af temperaturmålinger på begge broer er, at det er muligt at overholde de stillede krav til temperaturdifferencer ved at indlægge kølerør og isolering på udvalgte områder i og på konstruktionen. Her har temperatursimuleringerne været til stor hjælp, og det må konstateres at en brokonstruktion af højstyrkebeton udvikler mere varme, og at der må påregnes at udføre flere temperatursimuleringer end normalt.

5. Udførelse

Erfaringerne fra de to broer viste at entreprenørerne ikke havde nogen åbenlyse problemer med blanding, transport, udstøbning og komprimering af højstyrkebetonerne sammenlignet med traditionelle brobetoner.

Her skal kort nævnes nogle faktorer der havde indflydelse:

- Højstyrkebetonen kræver længere blandingstid.
- Skærpede krav til kvalitetsstyringen af dosering af de forskellige bestanddele på betonfabrikken. Små variationer kan give stor effekt på eksempelvis bearbejdigheden.
- Store mængder plastificeringsstoffer der resulterede i hurtigere sætmålstab og længere afbindingstid.
- Sætmålet skal minimum være 10 - 12 cm for sikre en rimelig bearbejdighed.
- Ingen bleeding, således at højstyrkebeton ikke er beskyttet af en naturlig vandhinde fra betonens vandseparation.
- Højstyrkebetonen er en anelse mere klæbrig og sej, samt lidt svarere at flytte rundt med ved udstøbningen. Der kræves flere vibratornedstik end normalt.
- Ved afretning af frie overflader anvendes normal teknik,

men det tidrum hvori afretningen kan foregå er mere snæver end for en normal brobeton.

På grund af højstyrkebetonernes lange afbindingstid, deres manglende bleeding pga deres ekstreme tæthed og lave vandindhold skal efterbehandlingen af højstyrkebeton tillægges særlig vægt. Højstyrkebetonen er meget følsom overfor tidlig udtørring og har dermed stor tendens til dannelse af plastiske svindrevner i den tidlige hærdeperiode.

Effekten af de foranstaltninger til højstyrkebetons efterbehandling skal nøje dokumenteres ved prøvestøbning. Den eksisterende viden omkring efterbehandlingen af højstyrkebeton er for lille til at give nogle retninglinier, men eksempelvis efterbehandling i form af vanding af betonen i de første døgn kan komme på tale.

6. Afsluttende kommentarer

Landskabet ved Frederikshavn er stærkt kuperet, og dette medførte en stor højde mellem motorvejen og den overførte vej, Gadholtvej. Netop denne specielle beliggenhed gav mulighed for at vælge en simpel og speciel udformning, nemlig den meget enkle buebro der spænder ca. 45 meter over motorvejen.

Højstyrkebeton har tidligere været anvendt nogle få gange herhjemme til anlægsbyggerier, bl.a. en stibro udført som en gitterdragerkonstruktion. Denne bro blev udført til Teknovision-udstillingen i forbindelse med Dansk Ingeniørforenings 100 års jubilæum. Broen er nu placeret ved Lunderskov station og er bestemt et besøg værd.

Der er uden tvivl mange nye konstruktive muligheder med anvendelsen af højstyrkebeton, der i fremtiden vil føre til slankere og mere spændstige konstruktioner med nye æstetiske kvaliteter.

7. Litteratur

I forbindelsen med opførelsen af de to broer ved Stobdrupvej og Gadholtvej er der udfærdiget og under udfærdigelse følgende publikationer:

Fredriksen, J. M; Hansen, T. S. og Poulsen, E.: "Bro nr. 70-0030, OF af Stobdrupvej - Forsøg med højstyrkebeton i praksis. Observationer og erfaringer". Vejdirektoratet 1994. 64 sider.

Geiker, M. og Larsen, E. S.: "Bro nr. 80-0090, OF af Gadholtvej - Udførelse af buebro i højstyrkebeton". Vejdirektoratet 1995 (ventes udgivet ultimo 1995).

Aalborg Universitet
Instituttet for Bygningsteknik
Sohngårdsholmsvej 57
9000 Aalborg

Er Normarbejdet gået i stå ?

af

Lektor, civilingeniør Gert Heshe
formand for Planlægningsudvalget vedr. Beton, PLU 8
under Dansk Standard

Indholdsfortegnelse	Side
1: Indledning	65
2: Standardiseringsarbejdets udvalgsstruktur	66
2.1 Comité Européan de Normalisation (CEN)	66
2.2 Dansk Standard (DS)	67
3: Status for konstruktionsnormerne	69
3.1 Status for danske konstruktionsnormer på betonområdet	69
3.2 Status for Eurocodes på betonområdet	70
4: Status for standarder vedr. materialer	70
4.1 Status for danske standarder vedr. materialer	70
4.2 Status for CEN-standarder vedr. materialer	72
5: Afslutning	73

Er Normarbejdet gået i stå ?

1. Indledning.

Titlen på nærværende indlæg, der er formuleret af arrangementskomiteen, er kort og præcis. Og svaret fra de personer, der deltager i normarbejdet, vil kunne formuleres mindst lige så kort og præcist, nemlig

Nej, absolut ikke.

Dette svar gives under indtryk af den ret så anseelige arbejdsbyrde, som de fleste af deltagerne i standardiseringsarbejdet føler, at dette arbejde lægger på deres skuldre.

For personer der ikke deltager direkte i standardiseringsarbejdet, kan det måske virke, som om dette arbejde er gået i stå, men man må huske på, at den demokratiske proces, som et standardiseringsarbejde skal igennem, er en uhyre tidskrævende proces indledende med et fagligt arbejde, hvor standardernes tekniske indhold skal formuleres og bearbejdes til opnået enighed. Herefter skal mange høres og indkommen kritik skal behandles grundigt og seriøst, inden man når så langt, at dokumentet kan udsendes som en ny standard eller en revision. Oven i den tekniske proces kommer den bureaukratiske proces, som for teknikerne til tider synes at være en utålelig tidskrævende proces.

Måske skulle spørgsmålet have været formuleret som *Er standardiseringsarbejdet gået i stå?*, for fremover vil vi nok komme til at benytte terminologien A-standarder og B-standarder, hvor A-standarden er det, vi idag forstår ved normer, og B-standarder er produktstandarder.

I standardiseringsarbejdet står man i dag i en lidt turbulent situation, idet arbejdet omfatter danske standarder, europæiske standarder og internationale standarder. Arbejdet inden for betonområdet koncentrerer af ressourcemæssige grunde dog om de to først nævnte.

Men hvad menes der egentlig med spørgsmålet i artiklens titel ?

Gælder spørgsmålet kun nationale standarder, eller gælder det også europæiske standarder ?

Jeg har valgt at undlade at spørge, for efter min mening må det være rigtigst at oplyse om

både det nationale og det europæiske standardiseringsarbejde.

For at skabe bedre forståelse for den lange tid, der normalt medgår til en standards tilblivelse, vil der nedenfor blive givet en kort og grov oversigt over organisationsformen for det europæiske og det danske standardiseringsarbejde vedr. betonområdet.

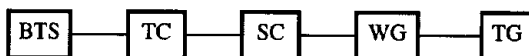
2. Standardiseringsarbejdets udvalgsstruktur.

2.1. Comité Européen de Normalisation (CEN).

Udvalgsstrukturen kan groft opstilles som vist nedenfor med faldende prioritet fra venstre mod højre. Mellem TC og WG kan der inskydes en SC, hvis emnet, der behandles, er meget omfattende. Nedenfor er der angivet en kort signaturforklaring



eller



- BTS** : Bureau Technique Sectorial
BTS er hovedansvarlig for de standardprogrammer, der inden for det pågældende område sættes i værk. BTS arbejder gennem nedennævnte udvalg. Medlemmer af BTS er nationale delegater, udpeget af medlemslandet og repræsentant for dette.
- TC** : Technical Committee
TC nedsættes af BTS med en titel og et præcist defineret afgrænset hovedansvarsområde.
Medlemmer af en TC er nationale delegater som ved BTS.
- SC** : Subcommittee
TC uddelegerer opgaver til SC. I princippet kan TC's arbejdsopgaver udføres gennem WG's, men hvis arbejdet omfatter et meget stort emneområde, hvor mange forskellige ekspertiser til forskellige delemler er nødvendig, etableres der normalt en SC.
Medlemmer af en SC er nationale delegater som ved BTS.
- WG** : Working Group
SC eller TC uddelegerer veldefinerede, specifikke standardiseringsopgaver inden for TC's emneområde.
Medlemmer er personligt udpeget som eksperter, der ikke optræder som repræsentant for medlemslandet.
- TG** : Task Group
TG er en arbejdsenhed under WG eller SC, der arbejder med specifikke standardiseringsopgaver af relativt mindre omfang.
Medlemmer er personligt udpeget som eksperter som ved WG.

Som eksempler blandt mange på ovenstående udvalg, der har interesse for betonbranchen, kan nævnes

BTS1	Overordnet udvalg med ansvar for byggeri
TC 51	Cement
TC 104	Beton
TC 154	Tilslag
TC 229	Præfabrikerede betonelementer
TC 250	Konstruktionsnormer (structural Eurocodes)
TC 104/SC 1	Revision af ENV 206
TC 104/SC 1/TG 3	Overensstemmelseskriterier
TC 104/SC 1/TG 9	Alkalisk reaktioner
TC 104/SC 2	Udførelse af betonkonstruktioner
TC 104/WG 9	Mikrosilica
TC 250/SC 2	Projektering af betonkonstruktioner

Ønskes der en dybere indsigt i CEN's organisation, kan der henvises til *CEN/CENELEC Internal Regulations, Part 2: Common rules for standard work*.

Ovenstående udpluk af udvalgsstrukturen for det europæiske standardiseringsarbejde på betonområdet giver måske en ide om, hvor mange led et dokument skal igennem og dermed måske en forklaring på, hvorfor det tager så lang tid at få en standard udarbejdet og godkendt til udsendelse som en gældende standard.

Ønskes der en total oversigt over alle de udvalg, der er nedsat for at få udarbejdet det samlede standardkompleks gældende for betonområdet, kræver dette et stort arbejde og samtaler med en række personer. Så vidt vides, er en sådan total oversigt ikke udarbejdet i skrivende stund.

2.2 Dansk Standard (DS).

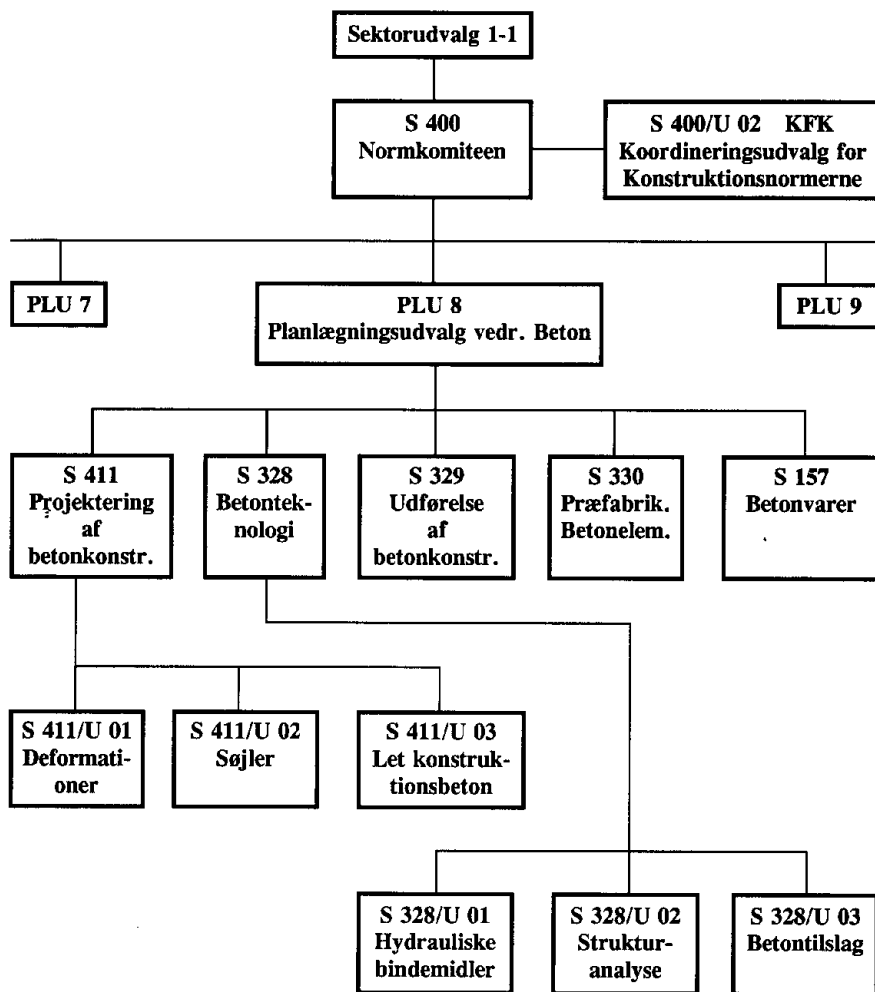
Første udgave af Dansk Standards *Håndbog for sektorudvalg 1-1* er udsendt, og for tiden behandles de fra planlægningsudvalgene indkomne kommentarer til denne udgave.

Under sektorudvalg 1-1, der omfatter Byggeri og Anlæg, har udvalgsstrukturen for Planlægningsudvalget for Beton, PLU 8, i skrivende stund det i figur 1 viste udseende.

Sektorudvalg 1-1 er rådgivende over for DS's direktion inden for bygge- og anlægsområdet. Sektorudvalget skal således bistå direktionen i forbindelse med prioritering og koordinering af standardiseringsarbejdet og hertil relaterede aktiviteter nationalt, europæisk og internationalt inden for de standardiseringsaktiviteter, der er allokeret til sektorudvalget.

Normkomiteen, S 400, har over for Sektorudvalg 1-1 det faglige ansvar for standardiseringsarbejdet vedrørende danske normer og standarder og visse CEN/ISO-standarder i det omfang, det fremgår af kommissoriet for det danske udvalg, der tager sig af CEN/ISO-standarder.

Planlægningsudvalget vedr. Beton, PLU 8, har over for sektorudvalg 1-1 det faglige ansvar for koordinering og prioritering af standardiseringsarbejdet inden for betonområdet. PLU 8 skal behandle udkast til standarder, tekniske rapporter og lignende, der er udarbejdet af standardiseringsudvalgene og indstille godkendte dokumenter til videre behandling i systemet med offentliggørelse som endeligt mål.



Figur 1 Udvalgsstruktur for Planlægningsudvalg for Beton, PLU 8.

Standardiseringsudvalgene S 411, S 328, S 329, S 330 og S 157 har over for planlægningsudvalget PLU 8 det faglige ansvar for, at standardiseringsarbejdet følger det givne kommissorium. Udkast til standarder, tekniske rapporter og lignende, der er udarbejdet i eller behandlet af standardiseringsudvalgene, skal fremsendes til godkendelse i planlægningsudvalget PLU 8.

Underudvalgene S./U., som PLU 8 vil foretrække at kalde arbejdsudvalg, refererer til det udvalg, der har nedsat det, og har over for dette det faglige ansvar for opfyldelsen af sit kommissorium.

For standardiseringsudvalgene gælder pt., at S 328, S 329, S 330, og S 157 er formerede og i arbejde. S 411's opgaver er hidindtil blevet varetaget af PLU 8, men på PLU 8's juni møde blev S 411 formeret og overtager herefter det arbejde, der hører ind under S 411's arbejdsområde.

Ovenstående er en kort gennemgang af udvalgsstrukturen for Planlægningsudvalget vedr. Beton under Sektor 1-1, Byggeri og Anlæg i Dansk Standard. Ønskes der et nøjere kendskab til denne organisation, kan der henvises til *Håndbog for Sektorudvalg 1-1, Udvalgsstruktur og procedure*, 1. udgave juni 1994, idet det dog skal bemærkes, at der forventes at komme en del ændringer i denne første udgave.

3. Status for konstruktionsnormerne.

3.1 Status for danske konstruktionsnormer på betonområdet.

I slutningen af 1994 nedsatte Dansk Standard udvalget *Koordineringsudvalget for konstruktionsnormerne (KFK)*. Ud fra den kendsgerning, at vore nuværende normer er mere end 10 år gamle, samt at der efter alt at dømme vil gå mindst 10 år, inden der er etableret et sammenhængende harmoniseret Eurocode-normkompleks, besluttede KFK på sit 1. møde i februar 1995 at igangsætte en koordineret revision af det danske normkompleks under hensyntagen til og udnyttelse af de offentliggjorte ENV'er, idet der i det nye normkompleks kun indarbejdes stof fra Eurocodes i det omfang, hvor der dels er tale om en gevinst for industrien eller åbenlyse tekniske landvindinger dels er en meget stor sikkerhed for, at den pågældende ændring også vil være gældende, når ENV konverteres til EN. Revisionerne udføres ved, at der udsendes nye udgaver af de danske normer.

Revisionen af DIF's Norm for betonkonstruktioner, DS 411, vil blive behandlet i Standardiseringsudvalget vedr. *Projektering af betonkonstruktioner, S 411*, i efteråret 1995. Der forventes, at der kun vil forekomme meget små ændringer vedr. konstruktionsberegningssområdet, og at revisionen stort set kun vil omfatte en tre-delning af Betonnormen i lighed med den tre-delning, der forventes at komme i CEN-regi, se afsnit 4.1, samt evt. en revision af brandafsnittet i DS 411.

I foråret 1995 har der i PLU 8 været arbejdet med fremstillingen af en ny udgave af Tillæg til DS 411 omfattende rettelser, ændringer og tilføjelser samt spørgsmål og svar på henvendelser vedr. DS 411. Dette arbejde vil formentlig resultere i en udsendelse af en ny udgave af *Normtillæg* gældende for DS 411 og på længere sigt vil resultatet af arbejdet indgå i ovennævnte revision af DS 411 og BBB.

3.2 Status for Eurocodes på betonområdet.

Allerede i maj 1992 blev DS/ENV 1992-1-1, Eurocode No. 2: Betonkonstruktioner (EC 2) udsendt og efterfulgt af DS/ENV 1992-1-1 NAD, Dansk supplement til Eurocode no.2 i marts 1993. Der har fra danske brugeres side tilsyneladende ikke været den store interesse for at gøre brug af EC 2, hvilket sikkert skyldes, at EC 2 i sin nuværende form ikke er særlig brugervenlig, samt at anvendelsen af EC 2 som projekteringsgrundlag i stedet for DS 411 vil forringe betonkonstruktioners konkurrenceevne.

I foråret 1995 udsendtes som supplement til EC 2

- del 1-3: Generelle regler for Præfabrikerede betonelementer,
 - del 1-4: Generelle regler for Letbetonkonstruktioner med tæt struktur,
 - del 1-5: Generelle regler for konstruktioner med ikke injicerede forspændingskabler og/eller udvendig spændarmering
 - del 1-6: Generelle regler for uarmerede betonkonstruktioner
- del 1-2 : Structural fire design er i jan 94 i SC 2 blevet godkendt til udsendelse som ENV, men den er endnu ikke offentliggjort.

På TC 250/SC 2-mødet i september 1994 blev "fundamentsdelen" prENV 1992-3 *Concrete Foundations* behandlet og blev ved den lejlighed udsat for en voldsom kritik. "Forfatterne" blev bedt om at forbedre dokumentet inden en fornyet fremsendelse. Dokumentet er genfremsendt i let revideret form, men langt fra tilfredsstillende set med danske øjne. Dansk kritik er fremsendt til SC 2, og det forventes ikke, at "fundamentsdelen" har nået et sådant niveau, at den vil blive behandlet på TC 250/SC 2-mødet i september 1995.

På TC 250/SC 2- mødet i september 1995 skal "brodelen" 1992-2 prENV *Concrete Bridges* behandles, og det forventes, at den vil blive godkendt til udsendelse som en ENV.

Løvrigt er det et dansk synspunkt, at man skal have så få "dele" som muligt omhandlende specielle konstruktioner eller konstruktionsdele, idet nødvendige beregninger bør kunne gennemføres ud fra EC 2 part 1.

I løbet af efteråret 1995 skal der i TC 250/SC 2-regi nedsættes en "editorial group" samt en række ekspertgrupper, der skal behandle den til EC 2, 1992-1-1 indkomne kritik med det for øje, at ENV 1992-1-1 (EC 2) kan konverteres til EN 1992-1-1 senest med udgangen af 1998, evt. også inkluderende delene -1-2 til -1-6 samt part 2 *Concrete Bridges*.

4. Status for standarder vedr. materialer.

4.1 Status for danske standarder vedr. materialer.

BBB og DS 411

På Dansk Betondag i 1994 var der et indlæg med titlen *BBB skal revideres*. Arbejdet med revisionen, der er delt op i 2 faser, var på det tidspunkt allerede i fuld gang, idet forslaget til revisionen under fase I havde været udsendt til kritik, og behandlingen af den indkomne kritik var netop påbegyndt.

Fase 1 omhandlede revision af BBB vedr. strukturanalyse indeholdende følgende 3 punkter

- a. ændringer i BBB
- b. udarbejdelse af prøvningsmetode til bestemmelse af vægtforskelle mellem top og bund af betoncylindre.
- c. udarbejdelse af prøvningsmetode til bestemmelse af klumper i mikrosilica

Som bekendt blev resultatet af fase 1, at krav om udførelse af strukturanalyse blev suspenderet pr. 1. maj 1995, samt at de ovenfor nævnte prøvningsmetoder blev udsendt som danske standarder, henholdsvis DS 423.35 og DS 423.36.

Standardiseringsudvalget S 328 har nedsat et ad hoc udvalg til behandling af problemerne vedr. strukturanalyse. Udvalget har påbegyndt arbejdet i begyndelsen af sommeren 1995 og forventer, at arbejdet er afsluttet i november 1995, således at resultatet af arbejdet kan komme med i den samlede revision af DS 411 og BBB. Fra udvalgets kommissorium kan nævnes, at udvalget skal udarbejde en prøvningsmetode til erstatning for den suspenderede TI-B5. Prøvningsmetoden skal fremstå i en repeter- og reproducerbar form med tilhørende dokumentation for revnekarakteristika og holdbarhed, der kan relateres til tilsatte krav. Desuden skal udvalget fastlægge densitet for mikrosilica-klumper med tilhørende dokumentation.

Oprindeligt var det tanken, at revisionen af BBB skulle holdes inden for BBB's egne rammer. Men det blev hurtigt klart, at dette ikke var hensigtsmæssigt.

For allerede nu at tilnærme sig det europæiske standardiseringssystem blev det besluttet, at den endelige revision skulle munde ud i en 3-deling af DS 411, nemlig

- DS 411.1 Projektering af betonkonstruktioner
- DS 411.2 Materialer/Betonteknologi
- DS 411.3 Udførelse af betonkonstruktioner

Som konsekvens heraf indarbejdes BBB i ovennævnte del 2 og 3.

Det er ikke muligt at gennemføre dette arbejde for den bevilling, der oprindeligt var afsat til projektet, idet det store arbejde med formulering og skrivning af tekst m.m. ikke kan forventes foretaget som "gratis-arbejde".

Den manglende finansiering har midlertidigt sat ovennævnte arbejde i stå, men Dansk Standard har i forsommeren fremsendt en ansøgning til Bygge- og Boligstyrelsen, hvori blandt andet beløb til ovenstående arbejde indgår, og medio august afholdes der et møde mellem Betonindustriens Fællesråd og PLU 8 for drøftelse af problemerne vedr. færdiggørelsen af den påtænkte revision af DS 411 og BBB.

Efter at finansieringen forhåbentlig er på plads i det tidlige efterår 1995, forventes det, at den omtalte revision vil kunne gøres færdig i løbet af 5-6 måneder.

Som en yderligere besværlighed er der dekretet "Standstill" i forbindelse med konvertering af ENV 206 til EN 206 og dermed for nogle af de områder, der omfattes af BBB. Standstill betyder, at der ikke må foretages ændringer i de nationale standarder omhandlende emner, der omfattes af standstill-reglerne.

Da revisionen af BBB er meget påkrævet, er der d. 8. juni 1995 afsendt en ansøgning til CEN om dispensation for Standstill-bestemmelserne, og det forventes ikke, at det vil volde problemer at få denne dispensation.

Hvis der mod forventning ikke kan opnås en dispensation, vil revisionen af BBB blive udgivet i regi af Bygge- og Boligstyrelsen. Alt sammen under forudsætning af, at det økonomiske grundlag for revisionen forinden er bragt på plads.

Løvrigt

I 1995 er der udsendt en ny cementnorm DS 427:1995, som stort set er en oversættelse af den europæiske standard DS/ENV 197-1, idet der dog kun er medtaget de cementer, der er god erfaring med i Danmark.

Som det sidst nye har PLU 8 på juni-mødet godkendt et certificeringsgrundlag for cement og indstillet det til udgivelse som en dansk standard DS 427.2 *Cement - Conformity Evaluation*. Certificeringsgrundlaget er udfærdiget på engelsk og er ikke tænkt oversat.

Certificeringsgrundlaget er udarbejdet på grundlag af det tilsvarende CEN-certificeringsgrundlag prENV 197-2:1994, der er udarbejdet og godkendt af CEN som et supplement til den europæiske cementstandard ENV 197-1. I den danske udgave er tilføjet de klassifikationskrav, der for nærværende er gældende i henhold til BBB. Endvidere er det danske arbejdsmiljøkrav om oplysning vedrørende cementens chromatindhold indarbejdet i certificeringsgrundlaget, jævnfør annek B i cementstandarden DS 427.

Tilsvarende certificeringsgrundlag for flyveaske og mikrosilica er under udarbejdelse og forventes til behandling i S 328 og PLU 8 i henholdsvis august og september 1995.

4.2 Status for CEN-standarder vedr. materialer.

EN 206

En af de standarder vedr. materialer, som der ventes på med stor spænding, er *ENV 206 Concrete, Performance, production, placing and compliance criteria*. Denne standard blev udsendt som DS/ENV 206 i april 1991 og er siden blevet udsat for en voldsom kritik.

Er arbejdet med denne standard gået i stå ?

Absolut ikke.

Der arbejdes kraftigt på at konvertere ENV 206 til EN 206, altså en gældende standard. Netop i disse dag er der en hektisk aktivitet i "editorial panel", idet en fuld færdig tekst til prEN 206 skal foreligge til 1. september 1995. Herefter skal forslaget diskuteres og behandles grundigt i deltagerlandene. I Danmark vil denne behandling hovedsagelig foregå i standardiseringsudvalget S 328, og resultatet af denne behandling skal i form af skriftlige bemærkninger fremsendes til CEN/TC104/SC1's sekretariat senest 15. oktober til videreudsendelse til medlemmerne af TC104/SC1, der skal behandle forslaget og indkomne

kommentarer på TC104/SC1-mødet d. 8. og 9. november 1995.

Forhåbentlig er dokumentet af en sådan kvalitet, at TC104/SC1 kan indarbejde de indkomne kommentarer, således at dokumentet kan udsendes som prEN 206 til medlemslandene for udsendelse i offentlig kritik i foråret 1996. Resultatet af denne kritik drøftes og indarbejdes i løbet af efteråret 1996 og foråret 1997, hvorefter dokumentet kan udsendes til "formal vote" med forhåbentlig en godkendelse og udsendelse som gældende standard tilfølg.

Har man tidligere interesseret sig for den udsendte ENV 206, vil man, hvis forløbet bliver som ovenfor beskrevet, observere at EN 206 er meget forandret og meget udvidet i forhold til den tidligere udsendte ENV 206. Set med danske øjne er resultatet ikke helt tilfredsstillende, men det er, hvad der har været muligt at opnå i den demokratiske tilblivesproces.

ENV 206 bliver delt i 2 dele, hvor EN 206 vil komme til at omhandle materialet beton og den anden del, som endnu ikke har fået noget nummer, vil komme til at omhandle udførelsen af betonkonstruktioner (EN ??? Execution of concrete structures), idet afsnittene i ENV 206 og EC 2 om udførelse, samt hvad der herudover måtte mangle om dette emne, vil blive placeret i denne udførelsesstandard. Ved sidstnævnte standard håber man at kunne springe ENV-stadiet over, således at de to dele kan udsendes i et normkompleks sammen med 4 Eurocodes, deriblandt *Eurocode 2: Design of concrete structures, Part 1: General rules and rules for buildings*, senest ved udgangen af 1998.

Løvrigt

Det vil i denne artikel føre alt for vidt at beskrive, hvad der løvrigt er sket, og hvad der er udgivet på standardiseringsområdet i CEN-regi vedr. materialer på betonområdet.

Som eksempler kan nævnes offentliggørelsen af EN 450:1994 *Fly ash for concrete - Definitions, requirements and quality control*, EN 196-serien vedr. metoder til prøvning af cement samt serien af "Produkter og systemer til beskyttelse og reparation af betonkonstruktioner". Fra sidstnævnte serier er der udsendt en række standarder til offentlig kritik.

5. Afslutning.

Læsning af denne artikel har forhåbentlig givet det svar, at normarbejdet bestemt ikke er gået i stå.

At resultatet af bestræbelserne for at udarbejde standarder er lang tid undervejs kan ikke benægtes, men man må erkende, at den demokratiske proces som standardiseringsarbejdet skal gennemløbe nødvendigvis må tage tid, hvis konsensus-princippet skal følges. Og det skal det.

Som afsluttende bemærkning skal meddeles, at når sidste punktum i denne artikel nu sættes, så *går normarbejdet i stå* midlertidigt for artiklens forfatter, for umiddelbart forude ligger 3 ugers sommerferie og venter.

COWiconsult
Rådgivende Ingeniører AS
Parallelvej 15
2800 Lyngby
Tlf. 45 97 22 11

Miljørigtig reovering af HK's forbundshus

af

Teknikumingeniør Niels Damsager Hansen

og

Arkitekt, MAA Susse Laustsen

Juli 1995

Miljørigtig renovering af HK's forbundshus

Indledning

HK-Forbundshuset på H.C. Andersens Boulevard har i adskillige år haft problemer med nedfaldende beton- og mørtelstykker fra bygningens facader. I foråret 1993 kunne der konstateres kraftige revner mellem facadeelementer og den indre bærende betonbagvæg samt nedfald af afsprængte elementhjørner og kanter.

HK har derfor besluttet at renovere bygningens facader og udskifte vinduer på bygningens ialt 19 etager (kajplan, broplan og tagetage medregnet). Der er ialt ca 9.000 m² etageareal.

Miljørigtig renovering

HK's byggeudvalg gjorde det allerede i opstarten af projekteringen klart, at det var vigtigt at materialevælget og udformningen blev miljørigtig.

Med disse krav til renovering drejer det sig om, at styre projektet sådan, at ombygningen belaster mennesker og natur mindst muligt. Det må gælde for bygningen og materialernes hele livsforløb - dvs. i princippet fra råstoffer til de nye facadeelementer fremskaffes, under udførelsen af renoveringen og helt til byggematerialerne bortskaffes.

COWIconsult, Rådgivende Ingeniører AS står sammen med KKP, A/S Kooperative Arkitekter M.A.A. for projekteringen, mens Monberg & Thorsen A/S udfører arbejdet. For at opfylde kravene om miljørigtig renovering er specialister fra COWI's miljødivision inddraget i dette ellers typiske arbejde for betonfolk.

Der er med denne rådgiversammensætning udviklet en projekteringspraksis, som sikrer, at der er taget hensyn til at:

- Miljøforhold og ressourcer
- Arbejdsmiljø og indeklima

er indgået i vurderinger af:

- Nedrivningsmetoder
- Metoder til montage af nye elementer
- Valg af materialer og byggelementer
- Affaldsbortskaffelse

Under projekteringen er materialer og byggelementer blevet vurderet ud fra den samlede miljøbelastning, og der har været lagt stor vægt på udførelsesfasen, for at sikre både miljøforhold, herunder gener for omkringliggende boliger, gode arbejdsmiljøforhold for de udførende og et indeklima med så få gener som muligt for HK's medarbejdere.

Metode til miljøvurdering af byggelementer og renoveringsmetoder

Det er vigtigt at holde sig for øje, at når miljøvurderinger skal indgå i projekteringsfasen, er det et krav, at de anvendte arbejdsmetoder er beskrevet på en overskuelig form, samt at materialedata kan indhentes til et dækkende niveau. Den anvendte metode til miljøvurdering af byggelementer i projektet er baseret på følgende:

- Screening, beskrivelse og vurdering
- Krav og forslag til udførelsesmetode

1. Screening, beskrivelse og vurdering

Der er ud fra tekniske og arkitektoniske hensyn udpeget flere egnede materialer og byggelementer til renovering af facaderne, eksempelvis:

- Fiberbeton eller Serporock (som primær facadebeklædning)
- Zink eller aluminium (på udvalgte steder af facaden, trappetårne og ved terræn)
- Natursten - granit eller travetin (i forbindelse med indgangsparti)

Herefter er der foretaget en screening af de udvalgte materialers miljøforhold.

Alle tilgængelige miljødata omkring materialerne er indsamlet, fx. leverandørinformationer, tidligere miljøvurderinger (hvor de fandtes), data generelt for materialerne og anden kendt og relevant viden.

På baggrund af screening er byggeelementets miljøpåvirkninger vurderet med særlig vægt på:

- Om råstoffer har været fornyelige, eller om der er tale om rigelige eller knappe ressourcer
- Energiforbrug til fremstilling, montering, drift og nedrivning
- Påvirkning af miljø - herunder emission af støj, udledning til luft og vand eller evt. miljøfarlige stoffer
- Påvirkning af arbejdsmiljøet - specielt støj, støv, ergonomi og sundhedsskadelige stoffer
- Påvirkning af indeklimaet under montering, drift og nedrivning

Vurderingen har ikke som formål at være total eller videnskabelig, men skal udpege problemområder, som kan påvirke miljøet eller sundheden negativt.

For at få et overblik og et sammenligningsgrundlag anvendes en oversigtlig skemaform, som vist i skema 1.

Fiberbeton

MILJØRELATION	Ressource	Levetid	Genanvendelse	Energiforbrug	Påvirkning af		
					miljø	arbejds miljø	indeklima
LIVSFORLØB							
Råstofudvinding	2				1	2/3	
Fremstilling af element				2/3	1	2/3	-
Montering				1	1/2	2	1/2
Drift og vedligehold		2		1	1	1/2	1/2
Nedrivning og bortskaffelse			2	1	1	2	1/2
	1. Fornyelige	1. >80 år	1. Genbrug eller 100% genanvendelige	1. Lav	1. Ingen eller lille	1. Ingen eller få gener	1. Ingen gener
	2. Ikke fornyelige - rigelig ressource	2. 30-80 år	2. Delvis genanvendelige	2. Middel	2. Nogen/middel	2. Gener	2. Nogen indflydelse på indeklimaet
	3. Ikke fornyelige - knappe ressourcer	3. <30 år	3. Ikke genanvendelige	3. Højt	3. Stor	3. Sundhedsskadelig effekt	3. Påvirker uacceptabelt

Skema 1. Screening af fiberbetonelementers miljørelationer

Ud over skemaet er vedlagt referencer og antagelser evt. forbehold og uafklarede spørgsmål er beskrevet.

2. Krav og forslag til udførelsesmetode

Udførelsesmetoder og deres påvirkning af miljøet er prioriteret højt under denne renovering. For at minimere renoveringsarbejdets omfang og hermed belastninger på miljø og arbejdsmiljø, nedtages så få af de gamle betonelementer som muligt. De "deponeres" på stedet og bliver beskyttet under de nye facadeelementer. Mængden af nedtagne facadeelementer er udelukkende bestemt af det konstruktive systems behov for aflastning.

Følgende forhold er blevet prioriteret:

Miljø:

- Fastgørelsesprincipper, der kræver mindst hugge- og borearbejde (min. støj- og støvudvikling) - multi-anvendelse af samme fastgørelsessystem for gamle og nye elementer
- Nye elementer som kræver mindst mulig tilskæring og tilretning på pladsen dvs. montagearbejde med god logistik og primært værkstedsarbejde
- Metoder som minimerer affald dvs. kontrol af spild og god genanvendelse.
- At der fokuseres på metoder, der er mindst energi- og ressourceforbrugende
- At de anvendte elementer ikke kræver yderligere behandling fx. overfladebehandling, fugning, limning eller stiller specielle krav til membraner
- At Miljøkontrollens støjkrav ved omkringliggende boliger overholdes

Arbejdsmiljø:

- Metoder, der prioriterer et sikkert og sundt arbejdsmiljø højt
- At der bores, slibes og fræses mindst muligt
- At der anvendes værktøjer med sug og/eller vandtilsætning
- At elementer, hvor det er muligt, leveres i en vægt og størrelse, der kan håndteres inden for de anbefalede løftegrænser
- At der anvises ergonomisk indrettede hjælpemidler ved transport, løft og fastholdelse

- At håndværktøj vægtmæssigt ikke overskrider de anbefalede løftegrænser
- At "håndholdte" værktøjer fastgøres på stativer mv.
- At overfladebehandling på stedet minimeres eller der vælges midler, som ikke påvirker sundheden
- At tilskæring, afretning mv. minimeres, således at der forekommer mindst mulig støvpåvirkning
- Alternativt at tilskæring foregår på en kontrolleret arbejdsplads med sug mv.

Indeklima:

- At værktøjer og arbejdsmetoder vælges ud fra max. krav til støjniveau inde i kontorerne
- At støvende processer minimeres
- At arbejdet planlægges og tilrettelægges, således at stærkt støjende processer foregår uden for HK-medarbejdernes arbejdstid
- At dagslysadgang til kontorerne sikres i størst muligt omfang under udførelsen
- At HK's medarbejdere informeres løbende om arbejdsprocesser og belastende perioder

Metoderafprøvning er en vigtig forudsætning for at opstille kravniveauer for miljøbelastning

Meget tidligt under projekteringen er det valgt at afprøve forankring og demontering af facadeelementer og montering af nye facadebeklædninger.

Formålet med prøvefelterne er:

- At opnå et nøje kendskab til facadekonstruktionen
- At afprøve forskellige fastgørelses- og demonteringsmetoder, så de kan beskrives præcist i Arbejdsbeskrivelsen
- At registrere og fastlægge acceptable kriterier for miljømæssige belastninger (støj, støv og ergonomiske forhold) og beskrive dem på en sådan måde, at de kan prissættes realistisk.

Skema 2 viser en sammenfatning af de samlede støjvurderinger.

Metode	Støj ekstern naboer	Støj arbejds miljø	Støj kontorhus antal belastede etager		
			1-2	3-5	6-8
Hulboring med					
• diamantbor	1	1	2	1	1
• slagbor maskine	1	2	3	3	1
Demontering					
• diamantskæring (vinkelsliber)	2	2	3	2	1
• afhugning med elmejsel/trykluftmejsel	2	2	3	3	2
• aftrækning med donkraft	1	1	1	1	1
Afretning af overflader					
• Håndhugning	1	1	1	1	1
• Hugning med elmejsel	3	3	3	3	2
• Højtryksspuling	2	2	3	1	1
• Facadefræser	1	2	3	1	1
	1 acc./rimelig	1 acceptabel	1	støj lidt generende men tolerabel < 50 dB(A)	
	2 tæt ved grænseværdi	2 acceptabelt med høreværn	2	støjen generende 50-60 dB(A)	
	3 uacceptabel	3 uacceptabel selv med høreværn	3	støjen uacceptabel > 60 dB(A)	

Skema 2. Samlet vurdering af støj ved prøvefeltsarbejde.

Metoder vurderet under prøvefeltsarbejdet og deres miljøbelastninger

Under prøvefeltsarbejdet er følgende metoder afprøvet:

Fastgørelse af eksisterende elementer og beslag til nye elementer:

- hulboring med diamantbor
- hulboring med slagbor

Demontering af betonelementer:

- opskæring af elementer med diamantskive
- afhugning af elementer med elhammer/elmejsel
- aftrækning af elementer med donkraft

Afretning af bagvedliggende leca-overflader:

- afretning med håndhugning
- afretning med el-mejsel/-spade
- afretning med højtrykspuling
- afretning med facadefræser



Figur 1. Skæring af fuger. Skæring uden vand giver en voldsom støvudvikling og et højt støjniveau: 106 dB(A) ved udstyret og max. 72 dB(A) i bygningen. Støvudviklingen kan begrænses ved vandsivning eller sug.



Figur 2. Afretning af lecaoverflade med spademejsel er ergonomisk belastende. Støjniveauet ved udstyret er 112 dB(A) og i bygningen max. 78 dB(A).

Miljøkrav er en vigtig del af udbudsmaterialet

Med baggrund i screening af byggematerialer og erfaringerne fra prøvefeltsarbejdet har det være muligt at stille en lang række krav til entreprenørens udførelsesmetoder. Kravene er indarbejdet i arbejdsbeskrivelsen på lige fod med øvrige krav. Der er bla. stillet krav til entreprenøren om at udarbejde en miljøhandlingsplan omfattende administrative procedurer og arbejdsmetoder for miljøforholdene i forbindelse med entreprisen herunder støj, støv og håndtering af affald.

I overensstemmelse med Arbejdsministeriets bekendtgørelse nr. 1017 om indretning af byggepladser og lignende arbejdssteder er der udarbejdet en detaljeret Plan for sikkerhed og sundhed, som entreprenøren skal supplere og ajour-føre.

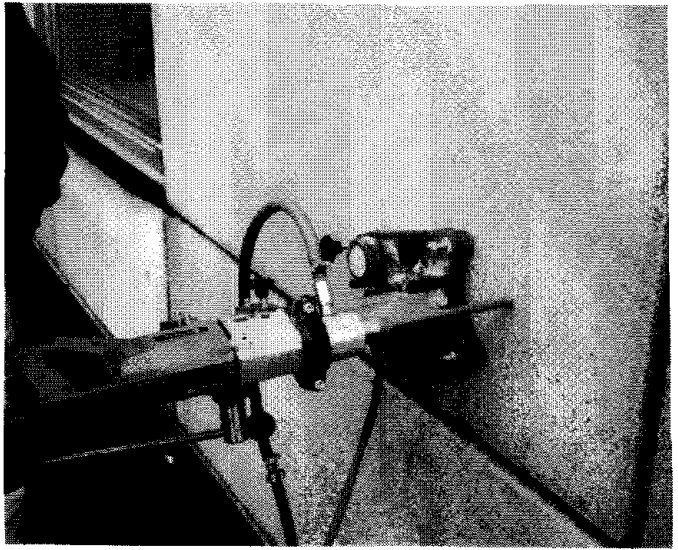
Støjbvurderingen har resulteret i krav til entreprenørens udførelsesmetoder samt krav om dokumentation i form af støjmålinger under udførelsen ved alle entreprisens aktiviteter:

- Af hensyn til støjbelastning af naboer må støjniveaulet ikke overstige 70 dB(A) i mandag - fredag kl.07-18. Uden for dette tidsrum: 40 dB(A) Ingen af de angivne metoder undtagen håndhugning kan anvendes uden for kl. 07-18
- Af hensyn til HK's medarbejdere må støjbelastningen inde i kontorerne ikke overstige 50 dB(A) i perioden kl. 8.30-16.00.

De fleste håndholdte værktøjer giver ergonomiske problemer og vibrationer. Arbejdsmiljøvurderingerne har resulteret i krav til udførelsesmetoder, som giver mindst mulig vibrationspåvirkning og tunge løft fx. at entreprenøren skal anvende holdere til at ophænge værktøjet i, så det ikke håndholdes.

Der blev ligeledes observeret stor støvudvikling fra de fleste processer, hvilket har ført til krav om enten udsugning på værktøjet eller/og vandtilsætning samt dagligt kontroller af, at der ikke forekomme støvgener fra entreprisens aktiviteter.

Der er stillet krav til manuel transport af elementer og materialer, såsom løft, bæring, skub, træk og lign. så tunge byrder begrænses mest muligt ved brug af tekniske hjælpemidler, hejs, løftegrej, transportvogne mv.



Figur 3. Boring med vandkølet diamantrørbor, monteret med vacuumsug. Støjniveau ved udstyret 80 dB(A). I bygningen max. 57 dB(A).

Der er stillet krav om sortering af affaldet i min. følgende fraktioner:

- Asbest
- Glas
- Jern og metal
- Asfalt-, beton- og teglbrokker
- Andet ikke-brændbart til losseplads
- Andet ikke-brændbart til fyldplads
- Andet brændbart affald

Entreprenøren skal i tilbudet dokumentere, hvordan miljøhensyn og -krav håndteres

For at få det bedste grundlag til at vurdere de indkomne tilbuds håndtering af miljøhensyn og -krav er de bydende i udbudsmaterialet blevet bedt om at beskrive:

- **Generelle forhold om miljø og arbejdsmiljø** - herunder CV på miljø- og arbejdsmiljøansvarlige, erfaringer fra tidligere arbejder, arbejdsmiljøpolitik og virksomhedens sikkerhedsorganisation

- **Rammer for miljøhandlingsplan** - herunder beskrive hvordan miljø- og arbejdsmiljøforhold styres og kontrolleres
- **Metoder til udførelse** - herunder redegøre for forventede metoder til at overholde krav til støj, støv, ergonomi og vibrationer samt planlægning af arbejdets miljøforhold

Kan entreprenøren leve op til kravene og bliver det væsentlig dyrere ?

Før entrepriseudbudet besluttede HK's byggeudvalg at prioritere entreprenørens gennemgang af miljøforhold højt ved at give et tillæg på 0-25% afhængig af entreprenørens oplysninger om miljøplanlægning, herunder miljøhandlingsplan, evt. miljøledelsessystem og andre relevante oplysninger til imødegåelse af miljøkrav. De vægtede tillæg er tillagt tilbudssummen, således at tillæget for de bedst belyste forhold er mindst, hvorimod et tilbud uden miljøoplysninger er tillagt 25% på tilbudssummen.

De afgivne tilbud viste, at 3 ud af 5 entreprenører kunne dokumentere hovedparten af de efterspurgte miljøtiltag i deres tilbud. Det billigste tilbud viste sig desuden at være det tilbud, som mest detaljeret har gjort rede for miljøledelsesystemet, kontrol af miljøkrav og metoder til miljørigtig renovering.

Aker Betong a.s
Postboks 66 Risløkka
0516 Oslo
Norge

BETONG I MEDIA **Norge høsten 1994**

av sivilingeniør Hanne Rønneberg
Formann i Norsk Betongforening
Teknisk sjef i Aker Betong

Juli 1995

BETONG I MEDIA - Norge Høsten 1994

Tradisjonelt er ikke vi i betongmiljøet vant med store presseoppslag som vedrører vårt byggemateriale. I styret i Norsk Betongforening har vi tidligere diskutert dette som et problem. Hvordan kunne vi bedre betongens «ry»? Kunne vi komme i kontakt med media for å få en positiv vinkling på betong? Diskusjonene var mange og lange.

Aftenpostens korstog

Men plutselig en dag kom noen oss i forkjøpet, riktignok ikke helt som vi ville ønsket. Norges største avis Aftenposten hadde tirsdag 23. august 1994 et stort oppslag på forsiden med overskriften «*Giftgasser fra fuktig betong*» og oppslag over flere spalter på nyhetssidene «*Betonggulv avgir gasser*»

Det konkrete bygget det var snakk om var Postens nye terminalbygg på Alnabru i Oslo, et bygg som hadde vært i bruk et snaut år. Et hell i uhellet var at det var Selmer som hadde vært entreprenør. En av Norges fremste betongeksperter, Steinar Helland i Selmer, var på banen fra første stund, og han nedla betydelig innsats i å utrede saken.

Selmer, Norcem og Norsk Betongforening kom sammen samme formiddag. Vi var alle overbeviste om at dette måtte bero på en misforståelse. Selmer hadde fått oversendt den såkalte «rapporten» som var bakgrunnen for oppslaget. Faksimile av denne «rapporten», gjengitt i fagtidsskriftet BETONGindustrien ligger bak dette innlegget.

I vår naivitet trodde vi en samtale med vedkommende journalist i Aftenposten som stod bak oppslaget ville rydde saken ut av verden. Dette viste seg å være fullstendig feil:

Dagen etter kom nye oppslag med følgende overskrifter:

«*Familien ble syk i splitter nytt hus*» på forsiden, samt på nyhetssidene «*Betong-gass hos Posten benektes*» og «*Stoffene tas opp i blodet*».

Føljetongen fortsetter. Etter et møte på Alnabru onsdag på den nå så berømte Postterminalen der partene møttes til diskusjon kom følgende oppslag torsdag:

«*Steile fronter i betongsaken - Spesialistene er langtfra enige med seg selv*».

Samme dag på avisens forside: «*Forskrifter mot betong-avgass*».

I artikkelen: «Statens bygningstekniske etat fastslår at avgasser fra betong er et kjent problem».

Dette er senere korrigerert fra BE ovenfor oss at de tvert i mot hadde sagt at avgass fra betong er et ukjent problem, ikke en helt uvesentlig forskjell?!

Rådgivende ingeniør Bjørn Vik, senere på høsten ansatt som daglig leder i bransjeorganisasjonen for ferdigbetongprodusenter, den gang fremdeles ukjent for de fleste innen betongmiljøet, skriver tirsdag 30. august et meget godt leserinnlegg i Aftenposten med tittel: «Farlige gasser? - Betong avgir bare vanndamp»

Betongmiljøet jobber i kulissene, kontakter personer som har vært sitert i forskjellige sammenhenger, både medisinsk ekspertise, innemiljø konsulenter og Statens Bygningstekniske etat.

Det hele koker ned til at ingen av disse har ment at det er betong i seg selv som er problemet, men det er fuktig betong belagt med tett belegg på et for tidlig tidspunkt etter utstøping der avgassing kan komme fra lim og/eller belegg.

Avisoverskriftene i Aftenposten forsvinner ikke, men de skifter karakter. Etter hvert kommer betongen mindre i fokus, det legges mer vekt på byggeslurv og tidsnød i bransjen. Dette er problemer vi alle er opptatt av at det blir satt søkelys på. Avisen hadde tjent mye på å gjøre dette fra starten av!

Siste utvikling i Postterminal-saken er en notis i Postens interne journal i januar 1995; «Sure mopper årsak til gassfrykt?» Som en kuriositet kan også nevnes at ingen ansatte har noen sinne klaget på byggets innemiljø...

Østlandets Blad og Akershus Amstidende

Parallelt med diskusjonen i Aftenposten har to andre aviser samme tema oppe. Dette er Østlandets Blad og Akershus Amstidende, begge hjemmehørende i Follo-regionen i Akershus, konsentrert rundt tettstedene Ski, Ås og Drøbak, alle noen mil utenfor Oslo. Innleggene her er enda mer usaklige enn de var i Aftenposten. Murer- og entreprenørfirmaet Lødeng A/S, som bl.a. livnærer seg av å stille diagnose på «betong-syke» hus, virkelig boltrer seg. Deres medisiner på disse husene er først å vanne betongen i flere uker, tørke betongen helt ut, for til slutt å forsegle betongen med en helt tett forsegling. På denne måten «nøytraliseres» betongen.

Sitat fra noen av artiklene:

Betong som ikke er vannet er rett og slett livsfarlig. Folk blir syke av det. Det ødelegger immunforsvaret.....

En surhetstest av betongen i gulvet viser en surhetsgrad på 12, en alt for høy pH verdi..... Jeg er ikke i tvil, her kan det ikke bo folk!»

«I løpet av de siste to ukene har betonggulvet blitt mett med vann. Noe som ikke ble gjort da det ble lagt, og som eksperter hevder er årsaken til all elendighet for familien på fem..... mange hus er gjort ubeboelige som følge av helsefarlige gasser fra betonggulv....

pH målinger av betongen viser 7 pH, noe som indikerer at huset er i ferd med å bli friskt igjen»

Firmaet Lødeng A/S har ingen som helst formell kompetanse innen betong, kjemi eller medisin. De har imidlertid en klokkeetro på at betong er et farlig materiale som bør unngås i enhver sammenheng. De møter opp med rak rygg og forsvarer sine påstander med et engasjement som nesten er imponerende.

For mennesker som blir syke av bygninger med dårlig innelima virker det betryggende å bli fortalt at problemet er så enkelt som at det er betongen som er årsaken.

Norges Astma- og Allergiforbund

Høsten 1994 kom det ut en heftet brosjyre (nærmest en liten bok) fra Norges Astma- og Allergiforbund (NAAF) med tittel «Sunne hus». Forbundet har opprettet et eget innelima kontor som står bak denne første utgaven av Sunne hus-boka.

Fra kapittelet om «Utførelse»:

«Betongkonstruksjoner skal vannes i en måned for å normalisere pH og unngå innebygging av alkalisk miljø som senere kan skape problemer i kombinasjon med fuktighet og andre materialer».

Samme ordlyd er benyttet i NAAF's medlemsblad med tema «Innelima» fra 30.oktober 1994.

I forordet til brosjyren står det at prinsippet bak teksten er at
TVILEN SKAL KOMME ALLERGIKEREN TILGODE.

NAAF er klar over at de kan ha gått langt i avvisning av produkter og vil ha en årlig oppdatering av teksten. Her er det viktig at betongmiljøet kommer på banen med sine innspill. Problemet er, i følge en kjent overlege, at med en gang «sannheter» om et materiale har fått feste seg, er det vanskelig å bli kvitt de senere.

Radio og fjernsyn

En av Aker Betongs ansatte var på ferie på Gran Canaria den uken i august hovedoppslagene var i Aftenposten. Han kom hjem og kunne fortelle at BBC World News hadde hatt som oppslag at «ukjent betong-gass var oppdaget i Norge»!

I tillegg hadde Radio 1 og P4 oppslag på sine nyhetssendinger samme uke.

NRK og TV2 engasjerte seg ikke i saken. De hadde imidlertid begge oppslag i slutten av oktober 1994 i forbindelse med innelima på en skole på Tjøme i Vestfold. Oppslagene var relativt nøkterne når det gjaldt faktisk innhold, men bildemateriale som ledsaget teksten, spesielt på NRK, gav igjen inntrykk av at betong er et farlig materiale.

Tanker i ettertid rundt betongmiljøets håndtering av situasjonen

I ettertid er det lett å se at vi reagerte noe panikkartet. Vi har ingen stor erfaring med media og brukte ikke nok profesjonell hjelp til dette. Vi nådde ikke godt nok fram med vår kunnskap, samtidig som vi ble svar skyldig på en del vesentlige spørsmål.

Fagmiljøene ved SINTEF og Byggforsk skrev et to-siders innlegg om problematikken der problemstillingen er belyst på en nøktern måte, og påstander er imøtegått. Skrivet er sendt ut til alle Fabeko's medlemmer, det er også med som vedlegg her.

Fagtidsskriftene Byggeindustrien og BETONGindustrien, samt Ingeniørnytt og Teknisk Ukeblad, stilte opp på betongens side. Den «vanlige» mann og kvinne i gata sitter imidlertid igjen med et inntrykk av at noe er galt med betong. En betongleverandør i Stavanger fikk henvendelse fra en lokal bedriftshelsetjeneste som hadde fått spørsmål fra et av sine medlemmer, en mindre entreprenør bedrift, om hvordan de skulle forholde seg til betong på byggeplassen for å unngå skadelig påvirkning. Det er ikke lett å fremskaffe enkel og saklig informasjon som kan brukes i slike sammenhenger.

Hva gjøres fremover?

Inneklima-prosjekt i NFR

Norges Forskningsråd (NFR) har i 1995 igangsatt et forskningsprogram om inneklima og helse. En av hovedmålsetningene bak dette har vært å få forskjellige fagmiljøer til å jobbe sammen, både på teknisk og medisinsk side. Betongbransjen kom inn med en søknad om midler i tolvte time. Det er bevilget midler til et forprosjekt i 1995 med en ramme på kr. 170.000. Finansieringen av forprosjektet kommer fra NFR, Norcem og Norsk Betongforening.

Prosjektet skal avklare om betong i ulike sammenhenger i bygninger kan ha noen negativ effekt for innendørs luftkvalitet og helse. Tre problemstillinger skal utredes nærmere:

- ubehagelig lukt og irriterende stoffer fra gulv med tett belegget over fuktig betong
- irriterende partikler fra ubehandlede betongoverflater
- risiko for skadelig avgassing fra ulike tilsetningsstoff i betong

Forprosjektet skal systematisere dagens viten. Målet er å komme med klare retningslinjer på hvordan f.eks. legging av tett belegget på betong skal gjøres korrekt. Samtidig planlegges et hovedprosjekt som igangsettes i 1996 med en ramme på kr. 600.000.

Inneklima konsulent Gaute Flatheim, som har figurert flittig i aviser og tidsskrift de siste månedene med svært bastante uttalelser om betong, har i det siste moderert seg kraftig. Aftenpostens ettermiddagsnummer fredag 24. mars i år har et intervju med ham vedr. Kringsjø Skole i Oslo, der uttalelsene hans er saklige og riktige. Her skal bygget være ferdig på 4 måneder, de fem største entreprenørene har heldigvis nektet å prise jobben!

Det er her vi også bør utøve påvirkning. **La materialer få den tiden som er nødvendig før bygg tas i bruk slik at vi kan leve i fred og fordragelighet med omgivelsene rundt oss!**

2 Vedlegg: Innlegg fra BETONGindustrien nr. 3/94 og 4/94

USERIØST OG SKREMMENDE OM GIFTGASSER I BETONG

AV BJØRN LUNDE

Den senere tid har det vært store presseoppslag i avisene Akershus Amtstidende, Aftenposten og Østlandets Blad der det er trukket frem eksempler på betongbygg som er blitt karakterisert som svært helseskadelige på grunn av giftig gassutvikling fra betong. Gassutviklingen påstås å komme fra manglende vanning av betongen etter utstøping og det anbefales trafyltting. Nå rykker betongekspertene fra det norske fagmiljøet ut og avliver påstandene som er fremkommet i pressen.

Det hele startet med et brev fra firmaet Lødeng AS til Postens Godssenter der det fremsettes en rekke påstander om mulige helseskader på grunn av fuktighet i betongkonstruksjonen. Brevet som i ettertid feilaktig er omtalt som en rapport, har ført til at spesielt Aftenposten har fulgt opp saken gjennom flere artikler de siste ukene.

Misbruk av fagfolk

– I disse oppslagene har flere personer blitt tillagt uttalelser og synspunkter som de senere har benektet, og mener at de er blitt unyansert eller feil sitert, sier formann i Norsk Betongforening Hanne Rønneberg. – Blant annet har den statlige tilsynsmyndigheten, Statens bygningstekniske etat (BE), benektet at de skulle ha uttalt: «Farlige gasser fra betong er et kjent problem». BE forsøkte tvert i mot å få frem at de ikke kjente denne problemstillingen. Journalistene og enkelte av de involverte har dessverre ikke vært i stand til å holde problemstillingen rundt nedfukning av lim og gulvbelegg fra påstandene om giftgass fra betongen.

Betong avgir ikke gass

– Vårt miljø har mottatt mange og sterke reaksjoner fra kollegaer og menigmann, og det er ikke tvil om at mange mennesker er blitt alvorlig skremt. Aftenposten har beklaget ovenfor Norsk Betongforening den vinklingen saken har fått. Skaden er imidlertid skjedd, og hos store deler av den norske befolkning har det nå dannet seg et inntrykk av at betong er et farlig materiale som kan avgis gass. Vi vil gjerne berolige

Dette er brevet, den såkalte «rapporten», fra Lødeng AS til Postens Godssenter som danner grunnlaget for presseoppslagene om giftgasser fra betong.

LØDENG AS
INGENIØR- OG ENTREPRENØRFORRETNING



Postens Godssenter
v/Hammervold

0024 OSLO

Om av: Hammervold

av: R. Olsen

Dato: 15.08.94

Adresse:
Tromsø 12, 9040 Oslo
Telefon kontor: 22 38 17 87
Telefax kontor: 22 25 48 77

Adresse oppg:
Vestermøntveien 17,
0648 Oslo
Telefon oppg: 22 20 24 18

Brev: Skrevet dato:
04/02/1972

Postgros:
0223 0605411

Vedr.: Besiktigelse samt målinger på Postens Godssenter

Vi viser til befaring på ovenfor nevnte sted hvor vi var tilkalt for kontroll av gulver som det hadde oppstått luktproblemer av.

Konstruksjonen bestod av betong, oppretningsmasse og lite linoleum.

Vi foretok flere el-elektriske målinger som gav indikasjoner på kjemisk fuktighet i konstruksjonen. Høyst sannsynlig har startet en kjemisk prosess som resulterer i at oppretningsmassen "sliber" i fra underlaget og skaper luftblærer under belegget.

Den kjemiske reaksjonen har startet en forspåning av lim, avspaltning av sterke lokalirriterende og potensielle toksiske aminer. Dette på grunn av den høye alkaliteten og organiske betongen.

Ifølge Statefrappor: STF 70 A 94 005 vil dette skje når betongen har en for høy pH-verdi.

Problemet med bygningsrelaterte plager hvor alkalisk fukt og gulvbelegg er sannsynlig årsak er beskrevet av svenske forskere ved Arbeidsmiljøinstituttet i Solna.

Dette innebærer en fare for helse og sikkerhet og vi anbefaler Dem at bedriftshelsetjenesten, hovedverneombud og Arbeidstilsynet vurderer om arbeidsplassen bør stenges.

Vennlig hilsen

LØDENG AS
INGENIØR- OG ENTREPRENØRFORRETNING

Reidar Olsen

- MILJØ
- TOMMER
- ROBBERSULJK
- REHABILITERING
- OMBYGGING
- REPARASJONER
- VEDLIKEHOLD
- FASADEOPPLUSSING
- BRANN, VANNSKADER
- KONSULENTTILSTAND

Forsikrings: 964 894 191

ge publikum og vårt klare budskap er at betong i seg selv ikke er et farlig materiale, understreker Rønneberg.

Usannheter

Styremedlem i den internasjonale betongforeningen FIP, Steinar Helland i Selmer, sier at brevet fra Lødeng AS angående Postterminalen på Alnabru inneholder en rekke usannheter og uerlig bruk av referanser. – Lødeng AS hevder at de var tilkalt for kontroll av gulv som det hadde oppstått lukt fra. Verken Postens administrasjon eller verneombudet hadde henvendt seg til Lødeng. Det er fremdeles ukjent for de ansatte at bygget har et luktproblem og det er da heller ikke kommet klager fra dem som arbeider i bygningen.

Dårlige kjemikunnskaper

– En annen påstand er at målinger gir indikasjon på kjemisk fuktighet i konstruksjonen. Vi vet at betong er et porøst materiale som i likhet med andre materialer, for eksempel tre, innstiller seg i likevekt med fuktigheten i omgivelsene. Det ville vært en sensasjon om det ikke ble registrert fuktighet i deket. Uttrykket «kjemisk fuktighet» er for øvrig et helt ukjent begrep i kjemi, sier Helland.

– Det antas også at betongen har vært høyalkalisk (høy pH-verdi). Selvsagt har betongen vært høyalkalisk. Om ikke så hadde vært tilfelle ville betongen vært sterkt skadet og uten muligheter til å beskytte armeringen mot korrosjon. Det er nettopp den høye alkaliteten som gjør betong til det velegnete byggematerialet som det er. Lødeng hevder at det blant annet dannes «organiske aminer». Blant alle kjemiske forbindelser er det ennå ingen som har fått betegnelsen «uorganiske aminer». Et slikt giftstoff finnes ganske enkelt ikke.

Rapporten fra SINTEF

Lødeng viser til en navngitt rapport fra SINTEF som brukes for å underbygge sine konklusjoner. Denne rapporten ble utarbeidet på oppdrag fra Norsk Betongforening for nettopp å vurdere et av Lødengs utspill på dette området i 1993. Etter å ha gått gjennom Lødengs såkalte dokumentasjon konkluderer rapporten fra SINTEF: Forfatterne gir sannsynligvis lesere uten utdannelse i kjemi et inntrykk av at de selv kan kjemi og ser ut til å bruke påstander om kjemiske reaksjoner og utslipp fra betong som delvis forklaring på beboeres



Hanne Rønneberg og Steinar Helland i Norsk Betongforening tilbakeviser systematisk alle påstandene fra Lødeng AS og beklager den frykt de har skapt hos publikum.

helseproblemer i bygg med sammensatt utvalg av materialer. Mange av uttalelsene er imidlertid direkte feilaktige, hvilket tyder på at kjemikunnskapene svikter på det mest elementære nivå.

Unødig frykt hos publikum

– De som først og fremst står igjen som tapere etter disse oppslagene er alle som arbeider eller bor i de omtalte bygningene eller andre betongbygninger i Norge, sier Hanne Rønneberg.

– De direkte løgnaktige påstandene

om at betong er et materiale som avgir giftgasser har skapt unødig frykt hos publikum. – De andre taperne er de som seriøst prøver å bygge opp problemstillingene rundt inn klima som en seriøs fagdisiplin. Slike faglige avsporinger som det denne såkalte debatten har vært, vil dessverre gå ut over troverdigheten til det helt nødvendige arbeidet med å redusere antall bygninger med utilfredstillende inn klima, sier hun.

Rapport fra Byggforsk fastslår:

PÅSTANDENE FRA LØDENG A/S ER FEILAKTIGE

I rapporten «Vurdering av luftkvalitet og gulvbelegg ved Postterminalen» fra Norges byggforskningsinstitutt (Byggforsk) i Oslo slås det entydig fast at de påstandene som fremkom fra firmaet Lødeng A/S i et brev til Postverket, ikke har rot i virkelighetens verden. De nye målingene som er foretatt av Byggforsk avviser at fuktighet i betong utvikler gasser som kan være helsefarlige.

Postens Godsterminal har engasjert Byggforsk til å vurdere påstander fra entreprenørfirmaet Lødeng A/S om at alkalisk fukt i betongdekke har ført til forsåping av lim under gulvbelegg, med påfølgende blæredannelse og avgassing av lokalirriterende og giftige stoffer.

Ingen helsefare

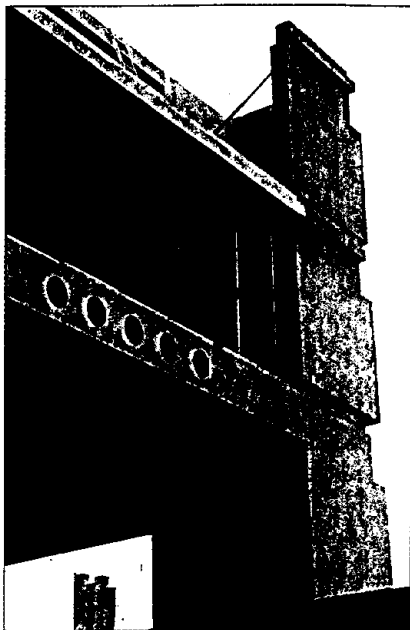
Peter Blom som er ansvarlig for rapporten fra Byggforsk, forteller at etter åpning av gulvkonstruksjonene ble det →

konstatert at det ikke er skjedd noen forsåpning av limet, og det ble ikke registrert lokalimiterende eller liknende stoffer.

– Målingene foretatt av oss viser at påstandene fra Lødeng A/S er grunnløse, understreker Blom. – Betongen i påstøp og dekkelementer var relativt tørr (75 prosent relativ fuktighet) i hele tverrsnittet. Luftprøver tatt i gulvkonstruksjonen og i romluften viste svært lave nivåer av flyktige organiske forbindelser. Det er ikke funnet konsentrasjoner av enkeltstoffer som kan gi grunnlag for helsefare eller helseplager, sier han.

Ikke klager fra de ansatte

Postens Godsterminal er en bygning i tre etasjer med et totalt gulvareal på 34.000 kvadratmeter. Bygningen har betongelementer i etasjeskiller og lette skillevegger. Oppå betongelementene er det påstøp på 70-80 millimeter og på påstøpen er det limt linoleum. I bygningen er det bare et sted man har registrert feil ved gulvbelegget,



Betong har vært og kommer forsatt til å være et velegnet byggemateriale i næringsbygg og boliger.

nemlig i et tekkjøkken der det var en liten blære i belegget. Etter at gulvbelegget i tekkjøkkenet var skåret av viste det seg at årsaken til blæren var manglende limkontakt mellom belegget og underlag, og ikke forsåpning. Postens Godsterminal har ikke mottatt noen klager fra de ansatte om helseplager eller luftproblemer i tilknytning til bygningen.

Usens skremselspropaganda

– Påstandene er tilbakevist og etter min mening dreier dette seg mer om et forsøk på å spre skremselspropaganda, sier Peter Blom. – I våre undersøkelser er det ingen ting som tyder på for tidlig legging av gulvbelegg, noe som firmaet også påstod i brevet til Postverket. Jeg vil understreke at vi snakker om påstander som er fremkommet i et brev og ikke i en seriøs rapport der det er foretatt målinger ved hjelp av anerkjente tekniske metoder, sier han.

INNVIKKNINGEN AV BETONG PÅ INNEMILJØ OG BEBOERES HELSE

– en faglig vurdering fra byggforskingsmiljøet

AV ÅGE HALLQUIST, BYGGFORSK OG SVEIN WILLY DANIELSEN, SINTEF KONSTRUKSJONER OG BETONG

Det har i lengre tid vært spekulert i dagspressen omkring betong som årsak til dårlig innemiljø og beboeres helseplager.

Byggforsk og SINTEF mener det er nødvendig med en faglig gjennomgang av disse problemstillingene. Begge miljøer er opptatt av å utvikle konstruksjoner som fungerer godt både når det gjelder teknisk funksjon og helse/komfort. Vi er derfor sterkt interessert i å komme til bunns i de problemstillinger som er tatt opp i dagspressen.

Samtidig mener vi det er viktig å mane til saklighet og nøkternhet, da det er en fare for at den pågående debatten kan skape unødvendig frykt og uklare oppfatninger av årsaksforholdene. Det er også viktig å påpeke behovet for grundige helsetilstandsvurderinger. En utvikling i retning av å behandle symptomene med enkle patentløsninger kan resultere i at man på sikt forsterker noen av de problemer man ønsker å løse.

Mange årsaker til dårlig innemiljø
Når man skal finne årsaken til innemiljørelaterte helse- og komfortproblemer, må man være klar over at det sjelden finnes en enkelt «syndebukk». Et dårlig innemiljø er som regel sammensatt av flere faktorer. Det kan være dårlig ventilasjon, utilstrekkelig renhold, feil med fuktkontroll, mangelfull isolasjon, spesielle forurensningskilder etc. En sanering av innemiljøet krever derfor at man eliminerer alle små bidrag, og nøye vurderer såvel bruksituasjon som bygningsmessig utførelse og materialer-/materialkombinasjoner.

Her vil vi vurdere hvilken rolle betong som byggemateriale spiller i dette.

Betong avgir ikke gass

Ren betong, som består av sement, vann, sand og stein avgir i utgangspunktet ikke andre gasser enn vandamp til innemiljøet.

Ofte benytter man organiske tilsetningsstoffer i små mengder (<0,5% av betongvolumet) for å gi den ferseke be-

tongmassen en bedre flyt, og også for å oppnå betong med bedre styrke- og bestandighetsegenskaper. Disse stoffene avgir ikke skadelige forurensninger til innemiljøet, så langt Byggforsk og SINTEF kjenner til. Det foreligger dokumentasjon i så måte.

At betong, som nesten alt annet vi omgir oss med, kan oppfattes å ha sin karakteristiske lukt, primært i fersk eller våt tilstand, har ingen ting med helseskadelig gass å gjøre.

Betong er basisk (alkalisk)

Betong er et basisk og porøst materiale med pH lik ca 13 i porevannet. Før man limet et tett belegg på f. eks. et betonggulv, skal betongen tørkes ut til et fuktinnhold som er avpasset limet og belegget som skal benyttes.

Dersom det blir stående fuktighet under belegget, er dette i så fall en byggeteknisk feil. Fukt i betongen kan skyldes at den er for dårlig uttørket eller at det er et utilstrekkelig kapillærtrykkende sjikt mellom betongsålen og grunnen. I spesielle tilfeller kan oppsamlet fukt under belegg på gulv mellom etasjer skyldes betongforskjeller i relativ fuktighet og/eller temperatur mellom de ulike rom. Vanntet under belegget er basisk siden det er i kontakt med betongen. De som belegget er tilstrekkelig diffusjonsåpent, vil det ikke samles opp fuktighet under belegget – fuktigheten tørker ut.

Gulvbelegg, lim og mykningsmidler
Det basiske vannet under belegget er i seg selv ikke skadelig.

Hvis det står i kontakt med et lim som ikke er alkalieresistent, vil limet kunne «forsåpes» (i.e. alkalisk hydrolyse). Dette vil i første rekke føre til at limet mister noe av sin klebende virkning og man kan få bløddannelse i belegget. Forsåpningen kan føre til avspalting av ulike typer alkoholer. Frem til i dag har man ikke ansett disse stoffene som helsefarlige i de aktuelle konsentrasjoner. De har heller ikke vært kjent for å kunne gi hypersensitive reaksjoner.

Dagspressen (f.eks. Dagbladet 1994-10-30, side 8) har i den senere tid vært opptatt av oktanol (n-oktanol eller 2-etyl heksanol) som kilde til helseproblemer.

Oktanol kan dannes dersom mykningsmidler (f.eks. dioktylfatlat) i gulvbelegg eller lim brytes ned under påvirkning av alkalisk fukt. Den helsemessige effekten av oktanol har vært undersøkt i yrkeshygieniske studier, uten at man har funnet noen eksempler på alvorlige helseeffekter. Luktien av oktanol er derimot karakteristisk. n-oktanol er pga sin aromatiske lukt f.eks. benyttet i parfyme/kosmetikk.

Opplevelse av innemiljø, videre forskning

Vi er klar over at det ofte kan være en avstand mellom det som objektivt sett kan tallfestes og aksepteres ut fra helsemessige kriterier, og det som kan tolereres komfort- og trivselsmessig især for brukere med allergiplager. Vi vet også at dårlig innemiljø er et tiltagende problem i store deler av samfunnet. Byggforsk og SINTEF har derfor tatt initiativ til videre forskning for å klarlegge de forskjellige bygningsmaterialers, materialkombinasjoners og utførelsesmetoders betydning i dette henseende. Målet er å komme frem til rotningstinger og kontrollkriterier som fra vår byggetekniske side av fagmiljøet kan sikre best mulige løsninger. I tillegg vil det utarbeides vurderingskriterier i nært samarbeid med medisinske fagmiljøer, for årsakssammenheng når problemer først er oppstått.

Kompleksitet og forenkling, bruk av tilgjengelig kunnskap

Med referanse til de komplekse årsaksforhold som ble nevnt innledningsvis, både av bygg/materialmessig og av annen art, vil vi avslutningsvis sterkt advare mot at enkeltfaktorer (som f.eks. betong) trekkes ut av sin sammenheng og gjøres eneansvarlig for uoversiktlige problemstillinger.

Vi vil også understreke viktigheten – og i de fleste tilfeller tilstrekkeligheten – av at den kunnskap som allerede er tilgjengelig når det gjelder materialer og byggetekniske løsninger, benyttes av de ulike aktører i prosessen. Dette gjelder f.eks. riktig utforming og prosjektering mht. fukt og isolasjon, fagmessig utførelse av betongarbeider, formuftig materialvalg forøvrig, godt renhold i byggeperioden og riktig drift av bygningen.

3DTI Betoncentret
Gregersensvej
Postboks 141
2630 Taastrup

Betonbranchens påvirkning af miljøet - betonens livscyklus

af

Civilingeniør, Ph.D. Mette Glavind

Juni 1995

Indholdsfortegnelse	Side
1: Baggrund	101
2: Introduktion af projekt Brancheanalyse beton Renere teknologi ved betonfremstilling	101
3: Brancheoplysninger	102
4: Udvikling af livscyklusanalysemodel	105
5: Livscyklusanalyse for fire betonprodukter	106
6: Parameteranalyser	111
7: Usikkerheder og vurderinger af resultater	112
8: Konklusioner	113
9: Referencer	115

Betonbranchens påvirkning af miljøet - betonens livscyklus

1 Baggrund

Miljøstyrelsens delhandlingsplan for renere teknologi- og genanvendelsesindsatsen i bygge- og anlægssektoren 1993-97 har som overordnet systematik faserne i en livscyklusvurdering, og vægten i indsatsen er forskudt i forhold til tidligere handlingsplaner fra processer til produkter, dvs. til byggevarer og bygninger/anlæg.

Til brug for livscyklusanalysen for bygningen/anlægget vil der være brug for en tilsvarende livscyklusanalyse for hvert delmateriale, der indgår i byggeriet/anlægget samt en analyse af selve bygge-/anlægsfasen.

Beton er udvalgt som ét af de første materialer, og det er ikke fordi, det forventes, at beton er særlig miljøskadeligt. Betonbranchen udgør med en omtrentlig årlig produktion i størrelsesordenen 10 mill. tons en meget væsentlig del af den danske bygge- og anlægssektor. Hele produktionen udgør sammen med overskuds- og fejlproduktion en potentiel affaldsmængde af anseelig størrelse.

Med den store produktionsmængde vil blot en relativt mindre reduktion af forbrug, emissioner eller affaldsmængder have stor effekt på miljøet. Tilsvarende vil anvendelse af selv en lille mængde af miljøfarlige stoffer pr. produceret enhed give en stor samlet mængde miljøfarligt stof.

2 Introduktion af projekt Brancheanalyse beton Renere teknologi ved betonfremstilling

Nærværende artikel beskriver et projekt med titlen Brancheanalyse beton Renere teknologi ved betonfremstilling. Brancheanalysen har haft til formål at give et økonomisk, teknologisk og miljømæssigt overblik over forholdene i betonbranchen i Danmark som helhed. Ved fastlæggelse af miljøforholdene er der taget hensyn til alle faser i betonens levetid fra udvinding af materialeråstoffer, forarbejdning til delmaterialer, produktion

af beton, fremstilling og opførelse af beton og drift af beton til nedrivning og afhændelse af betonprodukter.

Projektet har været finansieret af Miljøstyrelsen og er gennemført i perioden april 1993 - april 1995 af DTI Betoncentret i samarbejde med Carl Bro Gruppen as.

Projektet har været opdelt i fire faser:

- Fase 1. Kortlægning af betonbranchen som helhed med angivelse af struktur, produktprofiler og kvalitative miljøforhold.
- Fase 2. Registrering af kvantitative miljøforhold hos fire betonproducenter.
- Fase 3. Registrering af de kvantitative miljøforhold ved beton, som ligger udenfor produktionsstedet, f.eks. produktion af cement og nedrivning af betonkonstruktioner.
- Fase 4. Opbygning af en livscyklusanalysemodel og gennemførelse af livscyklusanalyser for fire forskellige betonprodukter.

Betonbranchen er i projektet defineret som producenter af:

- Betonelementer
- Betonvarer
- Fabriksbeton
- Letbetonelementer.

3 Brancheoplysninger

Tabel 1 viser en oversigt over de oplysninger, det har været muligt at indsamle for betonbranchen som helhed, svarende til fase 1 af projektet. Kun oplysninger, hvor en direkte sammenligning er mulig, er medtaget. Oplysningerne stammer fra projektets fase 1 rapport /1/.

Det fremgår af tabel 1, at det har været begrænset, hvad der har kunnet indsamles af oplysninger for betonbranchen som helhed.

Det fremgår endvidere, at betonelementbranchen er den største med hensyn til omsætning og antal beskæftigede, og at produktionen er samlet på et begrænset antal virksomheder. Fabriksbetonbranchen producerer mest beton, og betonvarebranchen består af mange små virksomheder. Letbetonelementbranchen har et relativt stort vandforbrug, og betonvarebranchen har et relativt stort cementforbrug.

Tabel 1 Oversigt over de fire delbetonbrancher /2/, /3/, /4/, /5/, /6/, /7/, /8/, /9/, /10/, /11/.

	Fabriks- beton	Beton- varer	Beton- elementer	Letbeton- elementer
Branche- og produktprofil				
Antal virksomheder	103	200	41	24
Antal beskæftigede	700	780	3.327	450
Omsætning, mio. kr.	1.361	995	1.622	594
Prod.mgd., 1.000 t	4.020	1.796	1.107	299
Ressourceforbrug				
Cementforb., 1.000 t	390	275	139	- ¹⁾
Vandforbrug, 1.000 t	290	100	67	- ¹⁾
Sand- og stenforbrug, 1.000 t	3.350	1.375	877	- ¹⁾
Lokal belastning				
Betonaffald	2-3 %	2-3 %	2-5 %	0-5 %

- 1) Kan ikke opgøres på brancheniveau. For den del af branchen, der producerer letklinkerbeton, er cementforbruget 17, vandforbruget 270 og sand- og stenforbruget 46 (tal i 1000 t). Hertil kommer forbruget i porebetonbranchen (udgør 25% af de producerede letbetonelementer udregnet efter vægt).

Delbranchernes miljøpåvirkninger er desuden opgjort i tabel 2 på baggrund af data fra en udvalgt betonproducent i hver delbranche gennemført i projektets fase 2 /12/. Producentens data for hver miljøparameter er opgjort og dernæst summeret op svarende til produktionsmængden i den relevante delbranche. Baggrunden for de viste miljøparametre er beskrevet i afsnit 4. Kun relevante miljøparametre er vist.

Da virksomhederne er udvalgt ud fra en forventning om, at de ligger på forkant i delbranchen med hensyn til miljøforhold, kan tabel 2 ikke forventes at være repræsentativ for den samlede delbranche, men opgørelsen er foretaget for at give et overblik over størrelsesordenen af de udvalgte miljøparametre.

Der er kun modtaget de påvirkninger, der forekommer i selve produktionsprocessen. Det forklarer bl.a. hvorfor tre af brancherne ikke har forbrug af kalk, selv om kalk er hovedbestanddelen i cement. Denne påvirkning hører til indvinding af materialeråstoffer. Tilsvarende er miljøpåvirkningerne ved indvindingen og forarbejdningen af de opgjorte materialeråstoffer ikke medtaget.

Tabel 2 Miljøpåvirkninger for de fire betonbrancher (1992), beregnet med baggrund i en enkelt pilotvirksomhed i hver branche.

Miljøparameter		Fabriksbeton	Betonvarer	Beton-elementer	Letbeton-elementer ¹⁾
Energiressourcer²⁾					
Naturgas	GJ	84.000	0	0	84.000
Gasolie	GJ	320.000	130.000	590.000	4.500
Kul	GJ	0	0	0	0
Fjernvarme	GJ	0	0	0	0
Petcoke	GJ	0	0	0	0
El	GJ	46.000	69.000	55.000	13.000
Transport-Bil	t · km	110.000.000	45.000.000	71.000.000	1.300.000
Transport-Tog	t · km	0	0	0	0
Transport-Skib	t · km	160.000.000	52.000.000	42.000.000	4.400.000
Materialeråstoffer					
Bakke materialer	t	1.200.000	1.500.000	540.000	50.000
Sømateriale	t	1.100.000	0	390.000	0
Granit	t	320.000	0	0	0
Kalk	t	0	0	0	13.000
Vand	t	430.000	290.000	200.000	86.000
Arealressourcer					
Indvindingsareal-Land	m ²	0	0	0	31.000
Indvindingsareal-Havbund	m ²	0	0	0	0
Emissioner til luft					
Støv respirabelt	kg	1.400	77.000	12.000	1.400
Cr	kg	0,03	2,0	0,30	0,02
Ni	kg	0,03	1,3	0,18	0,01
Cd	kg	0,001	0,14	0,01	0,0007
Pb	kg	0,02	1,4	0,20	0,01
Al	kg	8,0	3,8	0,90	0,31
Fe	kg	0,04	2,2	0,50	0,17
As	kg	0,02	1,1	0,16	0,01
CO ₂	t	75.000	28.000	55.000	3.100
SO ₂	t	170	75	110	11
NO _x	t	590	220	120	30
CO	t	180	72	0	2,0
Alpha kvarts	kg	280	1.500	1.200	140
Emissioner til vand					
Slam		18.000	13.000	6.100	750
BOD		1.800	1.200	590	64
COD		7.600	5.400	14.000	290
Olie+fedt		640	3.400	220	26
Detergenter		440	340	7.900	31
P		36	18	11	1,5
N		1.800	1.200	590	64
Cr		2,0	1,1	0,66	0,07
Al		80	54	22	25
Fe		1.000	700	320	36
Fast affald					
Brændbart affald		180	290	2.300	12
Ikke brændbart affald		43.000	88.000	44.000	4.700
Affald til specialbehandling					
A (mineral-olier)		0	100	0	5,5
B (halogen, svovlforbindelser)		0	0	0	0
K (kviksølvholdigt)		0	0	0	0
T (bekæmpelsesmidler)		0	0	0	0
X (uorganisk affald)		0	0	0	0
Z (andet affald)		0	0	0	0
Genanvendelse		520	0	50	0

¹⁾ Tallene dækker kun porebetonfraktionen i branchen (udgør 25 % af de producerede elementer i branchen, beregnet efter vægt).

²⁾ Energiressourcerne er som opgjort hos producenten, dvs. uden konverteringstab mv.

Det ses af tabel 2, at forbruget af sand og sten (bakke- og sømaterialer samt granit) svarer nogenlunde til oplysningerne i tabel 1, der er indhentet på delbrancheniveau. Derimod svarer fordelingen af forbruget af energiressourcer ikke til oplysningerne i tabel 1. Endvidere er mængden af betonaffald (ikke brændbart, fast affald) større for betonvare- og letbetonelementbranchen end angivet i tabel 2.

Det ses desuden, at betonelementbranchen har det største energiforbrug, selvom produktionsmængden kun udgør godt en fjerdedel af fabriksbetonbranchens.

Det ses endvidere, at betonvarebranchen har den største mængde ikke brændbart, fast affald. Mængden er dobbelt så stor som i fabriksbeton- og betonelementbranchen, selvom produktionsmængden kun er henholdsvis knap halvdelen og godt halvanden gang så stor.

4 Udvikling af livscyklusanalysemodel

Formålet med en livscyklusanalyse (LCA) er at identificere (alle) betydende ressourceforbrug, sundhedsbelastninger og miljøbelastninger i alle faser af betonproduktets livscyklus.

LCA eller "vugge-til-grav" tanken indebærer, at alle input i form af delmaterialer, energi og transport føres tilbage til ressourcer, som er taget fra naturen (oprindelige ressourcer), og at alle output følges frem til deres endelige destination som emissioner og/eller affald, der påvirker miljøet.

Analysen forbinder ressourceforbrug og sundheds- og miljøbelastninger til hver proces, der indgår i et betonprodukts livscyklus. Analysen er ikke i sig selv kompliceret. Det vanskelige består i at indsamle/måle data for forbrug og belastninger forbundet med hver delproces samt at sikre, at der ligger de samme afgrænsninger til grund for de indsamlede data.

Livscyklusanalysemodellen er opbygget i overensstemmelse med principper beskrevet i /13/ og /14/. Livscyklus inddeles i fem faser, se figur 1.

Fase 1 består af to processer, der kan optræde både separat og samlet, nemlig råstofindvinding og forarbejdningen af råstoffet til delmaterialer. Fase 2 er betonproduktion, fase 3 er opførelse og fase 4 er drift. Fase 5 består som fase 1 af to processer, nemlig nedrivning og den efterfølgende afhændelse af det nedrevne produkt (slutdisponeringen).

Det er meget omfattende og kræver mange detaljerede oplysninger fra producenter og leverandører, hvis alle led i produktion, brug og bortskaffelse af betonprodukter skal belyses i alle detaljer. Det har derfor været nødvendigt at foretage en række afgrænsninger, således at projektets ressourcer anvendes på de dele, som mest direkte er relateret til beton og brugen af

betonprodukter. Disse afgrænsninger ses beskrevet i projektets fase 4 rapport, /15/.

Ved bestemmelsen af hvilke ressourceforbrug, sundheds- og miljøpåvirkninger, der skal medtages, er der taget udgangspunkt i oversigten over miljøtemaer fra /16/. Der er udvalgt en række målbare miljøparametre til at beskrive de forskellige miljøtemaer. De for betonproduktion relevante parametre er vist i tabel 2.

Der er udviklet et edb-værktøj til håndtering af datamængderne forbundet med LCA for et betonprodukt. Værktøjet er foreløbigt kun udviklet til internt brug.

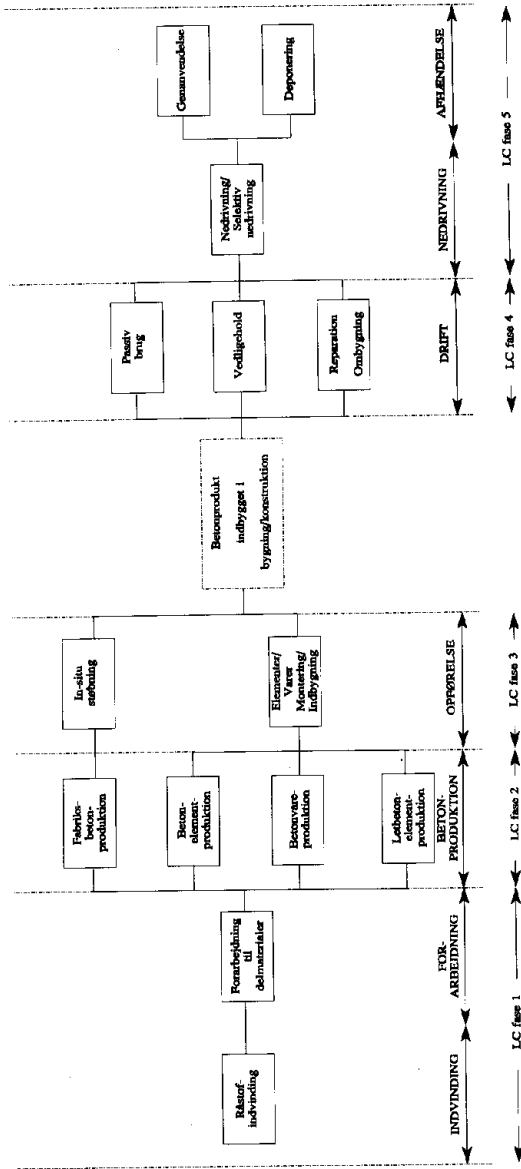
Edb-værktøjet er opbygget i Paradox 5.0, og består af et netværk af tabeller koblet sammen via nøglefelter. Editering af data til tabellerne foregår via indtastningsbilleder, som kan vælges fra en hovedmenu. Fra hovedmenuen kan endvidere vælges en rapport-menu, hvorfra edb-værktøjets forskellige rapporter kan udskrives. Ved valg af rapport-menuen foretages en gennemregning automatisk for at sikre konsistens i databasen og rigtigheden af oplysningerne i rapporterne.

Beregningsprincippet er, at miljøpåvirkninger ved slutning af hver livscyklus-fase er summen af miljøpåvirkningerne fra delmaterialer, som er brugt i fasen, plus miljøpåvirkninger fra processen, som betonproduktet gennemgår i fasen, plus miljøpåvirkninger fra transport af delmaterialer eller produktet, plus miljøpåvirkninger fra de forrige livscyklus-faser.

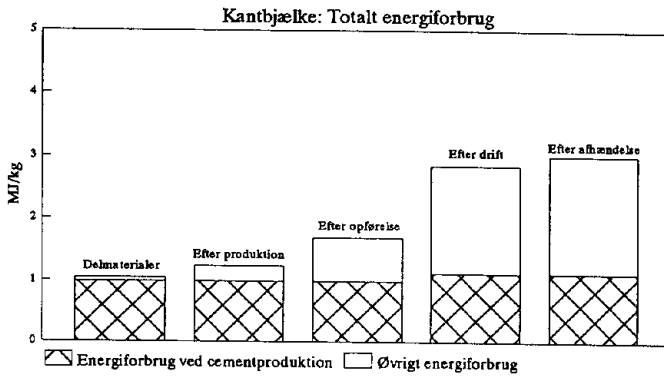
5 Livscyklusanalyse for fire betonprodukter

Der er gennemført livscyklusanalyser for fire betonprodukter, et typisk produkt fra hver af de fire delbetonbrancher: En in-situ støbt brokantbjælke, et kloakrør, et spændbeton dækelement og en porebetonindervæg. De udvalgte produkter er således forskellige i sammensætning, produktionsproces, opførelsesmetode og driftsbetingelser, herunder levetid. Data for de miljøforhold ved beton, der ligger udenfor produktionsstedet, ses beskrevet i projektets fase 3 rapport /17/.

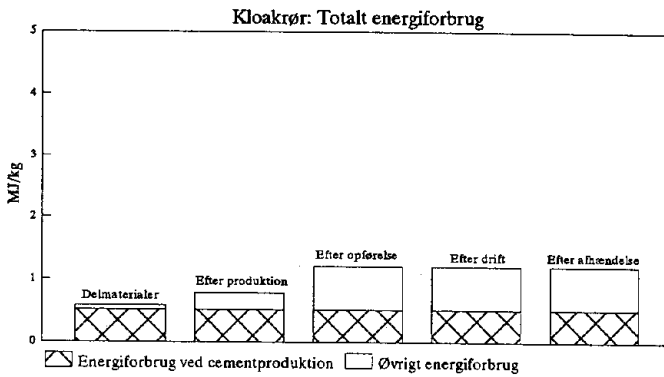
Som eksempel på resultater fra livscyklusanalyserne ses i figur 2, 3, 4 og 5 energiforbruget akkumuleret gennem livscyklus for de fire betonprodukter. Det kan ses, at energiforbruget for kloakrøret og elementdækket er størst for faserne delmaterialer og produktion, mens kantbjælken får en forøgelse af energiforbruget i driftsfasen, hvilket skyldes reparation og vedligehold, og porebetonindervæggen har det største energiforbrug i produktionsfasen, hvilket primært skyldes autoklivering af produkterne. Mellem 1/3 og 1/2 af det totale energiforbrug skyldes cementen, med undtagelse af porebetonindervæggen.



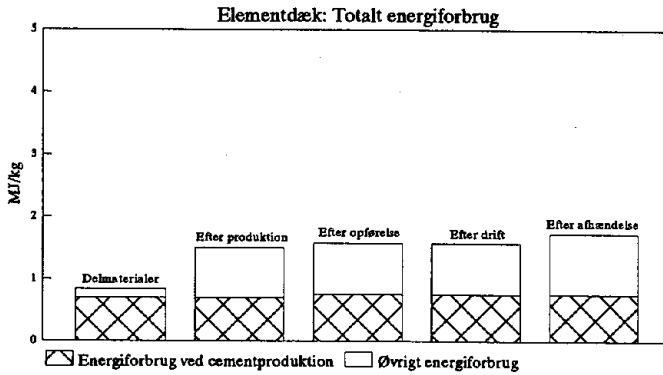
Figur 1 Processer i de fem faser i et betonprodukts livscyklus.



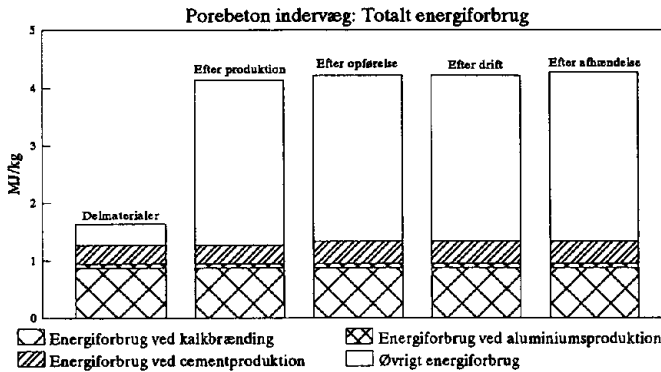
Figur 2. Energiforbrug for kantbjælke.



Figur 3. Energiforbrug for kloakerør.



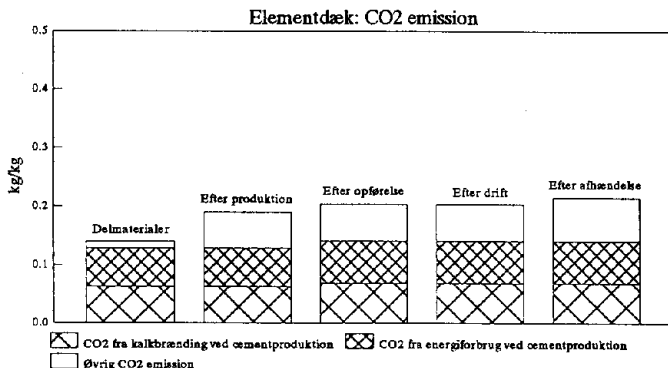
Figur 4. Energiforbrug for elementdæk.



Figur 5. Energiforbrug for porebetonindervæg.

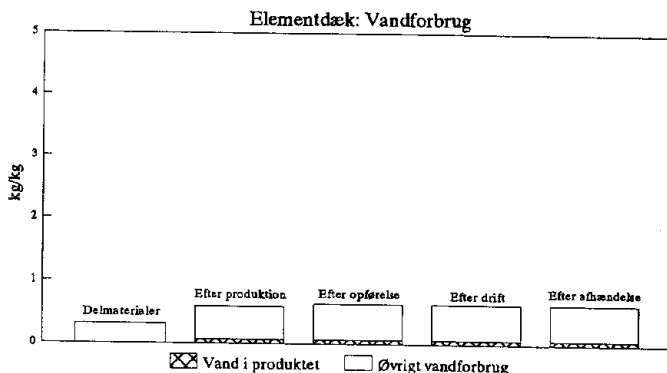
Figur 6 viser CO₂-emissioner for elementdækket. Det kan bl.a. ses, at 2/3 af CO₂-emissionerne skyldes cementproduktion (heraf er halvdelen fra brænding af kalk). CO₂-emissioner for de andre analyserede betonprodukter viser samme tendens.

Det skal hertil bemærkes, at de viste resultater ikke medregner den positive effekt ved karbonatisering af betonen, hvor der forbruges CO₂. Hvis det antages, at der efter nedknusning af det nedrevne betonprodukt kan opnås total karbonatisering, viser en overslagsberegning, at mellem 10 og 25% af CO₂ emissionen forbundet med cementproduktion vil blive forbrugt til karbonatisering.



Figur 6. CO₂-emission for elementdæk.

Figur 7 viser vandforbrug for elementdækket. Det største vandforbrug stammer fra delmaterialer og produktion. Selvfølgelig udgør vandet i betonen en forsvindende del af det totale vandforbrug.



Figur 7. Vandforbrug for elementdæk.

6 Parameteranalyser

I det følgende præsenteres et eksempel på, hvordan livscyklusanalyser kan benyttes til at analysere og optimere forskellige parametre, i dette tilfælde recepter.

Den fase, der har vist sig at være mest betydende, er forarbejdning til delmaterialer. Cementen har - ud over aluminium (til opgasning af porebeton) - generelt set de største værdier for de enkelte miljøparametre, og dermed er mængden og typen af cement i et betonprodukt afgørende for produktets miljøpåvirkninger. Desuden er der en mindre forskel på miljøpåvirkningerne ved forarbejdning til granit og sømaterialer (udgør den største del af betonprodukterne). Det er derfor valgt at koncentrere parameteranalysen om betonrecepter. Tabel 3 viser totalt energiforbrug og CO₂ emissioner for de forskellige analyserede cement- og tilslagstyper.

Tabel 3 Energiforbrug og CO₂ emissioner for forskellige cement- og tilslagstyper.

Cement	Hvid	Lavalkali	Rapid	Standard
Energiforbrug, MJ/kg	7.1	7.3	5.2	4.1
CO ₂ emission, kg/kg	1.9	1.4	1.0	0.8
Tilslag	Granit	Sømaterialer		
Energiforbrug, MJ/kg	0.05	0.02		
CO ₂ emission, kg/kg	4.5x10 ⁻³	1.9x10 ⁻³		

Der er udelukkende gennemført parameteranalyse for kantbjælken, da det er det eneste analyserede produkt, hvor der er anvendt granit og lavalkalicement, der begge forårsager større miljøpåvirkninger end sømaterialer og de øvrige cementtyper.

De foretagne parametervariationer har bl.a. vist, at en recept med en reduceret mængde cement, der er tilladt i henhold til gældende normer og standarder, resulterer i en 5-10 % reduktion af det totale energiforbrug og CO₂ emissioner, mens en recept med en forøget mængde cement, der også er tilladt i henhold til gældende normer og standarder, resulterer i en 5-10 % forøgelse af de udvalgte miljøparametre i forhold til referencerecepten.

En recept, der ikke er tilladt i henhold til gældende normer og standarder, hvor cement- og tilslagstype er udskiftet, får et langt mindre energiforbrug og en langt mindre CO₂ emission. Levetiden er dog vurderet til at være det halve af referencebetonerne, så kantbjælken skal produceres to gange, såfremt forudsætningen om en halveret levetid er korrekt.

Analysen indikerer derfor, at der fås næsten det samme energiforbrug og den samme CO₂ emission ved at producere kantbjælken

to gange med en ringere kvalitet beton end ved at producere kantbjælken én gang med en god kvalitet beton. Mængden af affald (og genanvendelsesmaterialer) øges dog til næsten det dobbelte på denne måde.

Det skal hertil bemærkes, at dette er for en estimeret levetid på henholdsvis 50 og 100 år og for den samme grad af vedligeholdelse og reparation.

Sammenfattende kan det konkluderes, at receptvariationer inden for normen tilsyneladende ikke har stor indflydelse på et betonprodukts miljøpåvirkninger. Derimod viser resultaterne, at der kan være perspektiv i miljømæssigt at bevæge sig uden for normens grænser. Dette kræver dog en mere tilbundsående analyse, der ligger uden for rammerne af nærværende projekt.

7 Usikkerheder og vurderinger af resultater

Det er vurderet for hver livscyklusfase og for hvert miljøtema, hvor stor usikkerheden er på de data, der er input til livscyklusanalysemodellen. Ud fra dette samt de enkelte livscyklus fasers bidrag til miljøtemaerne er der lavet et skøn over den totale usikkerhed for energiforbrug, CO₂ emissioner, NO_x og SO₂ emissioner, vand samt affald og genanvendelsesmaterialer for de fire analyserede betonprodukter, se tabel 4. Det kan bl.a. ses af tabel 4, at den største usikkerhed er på NO_x og SO₂ emissioner.

Tabel 4 Totale usikkerheder

	Kantbjælke	Kloakrør	Elementdæk	Porebeton indervæg
Energiforbrug	~30 %	~30 %	5-10 %	5-10 %
CO ₂ emissioner	~30 %	~30 %	~30 %	10-50 %
NO _x og SO ₂ emissioner	30-100 %	40-70 %	30-100 %	30-100 %
Vand	< 50 %	~10 %	~10 %	~10 %
Affald og genanvendelse	< 50 %	10-50 %	< 50 %	< 50 %

For at sætte værdierne for energiforbrug i perspektiv er forbruget ved produktion og opførelse af et dækelement sammenlignet med energiforbruget til opvarmning af en bygning. Energiforbruget til produktion og indbygning af et dækelement er i dette projekt opgjort til 485 MJ/m².

forbruget til produktion og indbygning af et dækelement er i dette projekt opgjort til 485 MJ/m².

Såfremt der betragtes 1 m² boligareal, hvori der indgår ca. 1 ton byggematerialer, alle produceret med et energiforbrug som dækelementet (307 kg/m²), fås et energiforbrug til produktion og opførelse af bygningen på knap 1500 MJ/m².

Til sammenligning anvendes der i gennemsnit 450 MJ/M² pr. år til boligopvarmning (med et konverteringstab på 25 %). Energiforbruget til fremstilling af bygningen svarer således til ca. 3 års energiforbrug til opvarmning.

8 Konklusioner

Branchens miljøpåvirkninger

Der er ikke ved gennemgangen af miljøforholdene på de fire udpegede betonvirksomheder iagttaget miljøpåvirkninger, der er væsentlige ud over det nødvendige.

I forhold til produkternes livscyklus er emissionerne i produktionsfasen små, og affaldsmængderne er ikke store, selv om de formentlig kan reduceres lidt med undtagelse af fabriksbetonbranchen. Ved produktion af porebeton er der dog visse emissioner til luft relateret til energiforbruget.

Der kan peges på mindre indsatsområder, såsom at undgå tilkørsel af flyveaske på åben vogn eller emission af støv gennem åbne portarealer. I det indre miljø kan der tilsvarende peges på forhold, hvor støv- eller støjgener kan minimeres, eller hvor arbejdsstillingen er trættende.

Andre områder, hvor miljøpåvirkningerne formentlig kan reduceres, er udvendig vask af betonkanoer med rent vandværksvand og deponering af betonaffald på grunden hos betonfabrikken. I produktionshallerne kan der muligvis spares energiressourcer ved optimering af belysning, tryklufsanlæg, motorer mv.

Livscyklusanalyser

Resultaterne af livscyklusanalyserne gør det muligt at udpege de materialer og processer, der giver de største miljøpåvirkninger i de udvalgte betonprodukters livscyklus. Det skal dog pointeres, at resultaterne er tæt knyttet til de valgte produkter og processer.

Valg af andre virksomheder til at levere data til projektet, valg af andre betonsammensætninger og valg af andre opførelses, drifts- samt nedrivnings- og afhændelsesmetoder vil hver for sig og samlet bevirke, at resultaterne af livscyklusanalysen ændres. Disse ændringer kan for givne forudsætninger let analyseres i den opstillede model.

Det kan foreslås at arbejde med renere teknologiløsninger inden for nedenstående områder:

- Cementproduktion
- Vedligeholdsmetoder
- Reparationsmetoder
- Produktionsproces for porebeton
- Kalkbrænding
- Genanvendelse af porebeton.

Det skal understreges, at det ikke er analyseret, om det er teknisk og økonomisk realistisk at indføre renere teknologi inden for de nævnte områder. Dette ligger uden for rammerne af nærværende projekt.

Det skal derudover pointeres, at der allerede er gjort en betydelig indsats for at mindske miljøpåvirkningerne ved cementproduktion, og at der kemisk er en nedre grænse for energiforbruget, og for CO₂ emission i forbindelse med dekomponering af kalk.

Sammensætningen af betonen har desuden indflydelse på miljøpåvirkningen. Betragtet over produkternes livscyklus er det ikke givet, at krav om optimal økonomisk levetid medfører de mindste, totale miljøpåvirkninger.

Desuden kan det være hensigtsmæssigt, at der på tværs af de forskellige projekter, som opstiller LCA-modeller, udvikles et generelt EDB-værktøj, som efter en fælles systematik kan give sammenlignelige resultater for forskellige byggematerialer. Det i dette projekt anvendte værktøj kunne danne udgangspunkt for en fælles model.

9 Referencer

- /1/ Miljøstyrelsen: "Brancheanalyse beton - Renere teknologi ved betonfremstilling, Delrapport fase 1 Branche- og produktprofil, forventes udgivet 1995.
- /2/ Beskæftigelsesstatistik, Danmarks Statistik, København 1990.
- /3/ Fabriksbetonkontrollen, Personlig kommunikation, Dansk Teknologisk Institut, 1993.
- /4/ Momsstatistik, Danmarks Statistik, København 1990.
- /5/ Betonvarekontrollen, Personlig kommunikation, Dansk Teknologisk Institut, 1993.
- /6/ Dansk Beton Industriforening, Medlemsfortegnelse, København April 1992.
- /7/ Varestatistik, Danmarks Statistik, København 1990.
- /8/ Betonelementkontrollen, Personlig kommunikation, Dansk Teknologisk Institut, 1993.
- /9/ Fabriksbetonforeningen, Personlig kommunikation, 1993.
- /10/ Betonelement-Foreningen, Personlig kommunikation, 1993.
- /11/ Letbetonkontrollen, Personlig kommunikation, 1993.
- /12/ Miljøstyrelsen: "Brancheanalyse beton - Renere teknologi ved betonfremstilling, Delrapport fase 2 Udpegning af pilotvirksomheder og miljøpåvirkningsprofiler, forventes udgivet 1995.
- /13/ SETAC-Europe, Life-cycle assessment, Society of Environmental Toxicology and Chemistry-Europe, Brussels, April 1992.
- /14/ Nordic Council of Ministers: "Product life-cycle assessment - Principles and Methodology, Nord 1992:9, København 1992.
- /15/ Miljøstyrelsen: "Brancheanalyse beton - Renere teknologi ved betonfremstilling, Delrapport fase 4 Livscyklusanalyser, forventes udgivet 1995.
- /16/ Miljøstyrelsen: "Byggeri og renere teknologi, Arbejdsrapport nr. 23, 1993.
- /17/ Miljøstyrelsen: "Brancheanalyse beton Renere teknologi med betonfremstilling, Delrapport fase 3 Miljøpåvirkningsprofiler for underleverandører og brugere af beton, forventes udgivet 1995.



Dansk Betonforening's publikationer:

Publ. nr.	Titel	Pris
34:89	"Anvisning for genanvendelsesmaterialer i beton til passiv miljøklasse"	kr. 45
Uden nr.	Tillæg til nr. 34:89 (udg. 1995)	kr. 45
35:90	"Anvisning for efterbehandling af beton"	kr. 30
36:90	"Dansk Betondag 1990"	kr. 55
37:91	"Dansk Betondag 1991"	kr. 70
38:92	"Anvisning i katodisk beskyttelse"	kr. 45
39:92	"Dansk Betondag 1992"	kr. 70
40:93	"Dansk Betondag 1993"	kr. 60
41:94	"Dansk Betondag 1994"	kr. 60
Uden nr.	Kontroljournaler 1988 - Blanketter m/vejl.	kr. 75
" "	"Concrete Across Borders 1994"	kr. 250
" "	"Nordic Concrete Development 1995"	kr. 150
" "	Abonnement "Nordic Concrete Research"	NKr. 100
" "	Tidl.udgivelser "Nordic Concrete Research"	NKr. 150
" "	Abonnement på DBF's publikationer	25% rabat

Ovenstående publikationer kan rekvireres ved skriftlig henvendelse til:

Ingeniørforeningen i Danmark
Mødereistreringen
Vester Farimagsgade 29
1780 København V

Fax nr. 33 15 37 07

ISSN nr. 0106-0406
ISBN nr. 87-87823-41-1
TEKNISK FORLAG A/S KØBENHAVN