

DBF

DANSK BETONDAG 1982

**PUBLIKATION 16:1982
DANSK BETONFORENING**



DANSK BETONFORENING

DANSK BETONDAG 1982

Afholdt i Køge den 9. september

København, august 1982

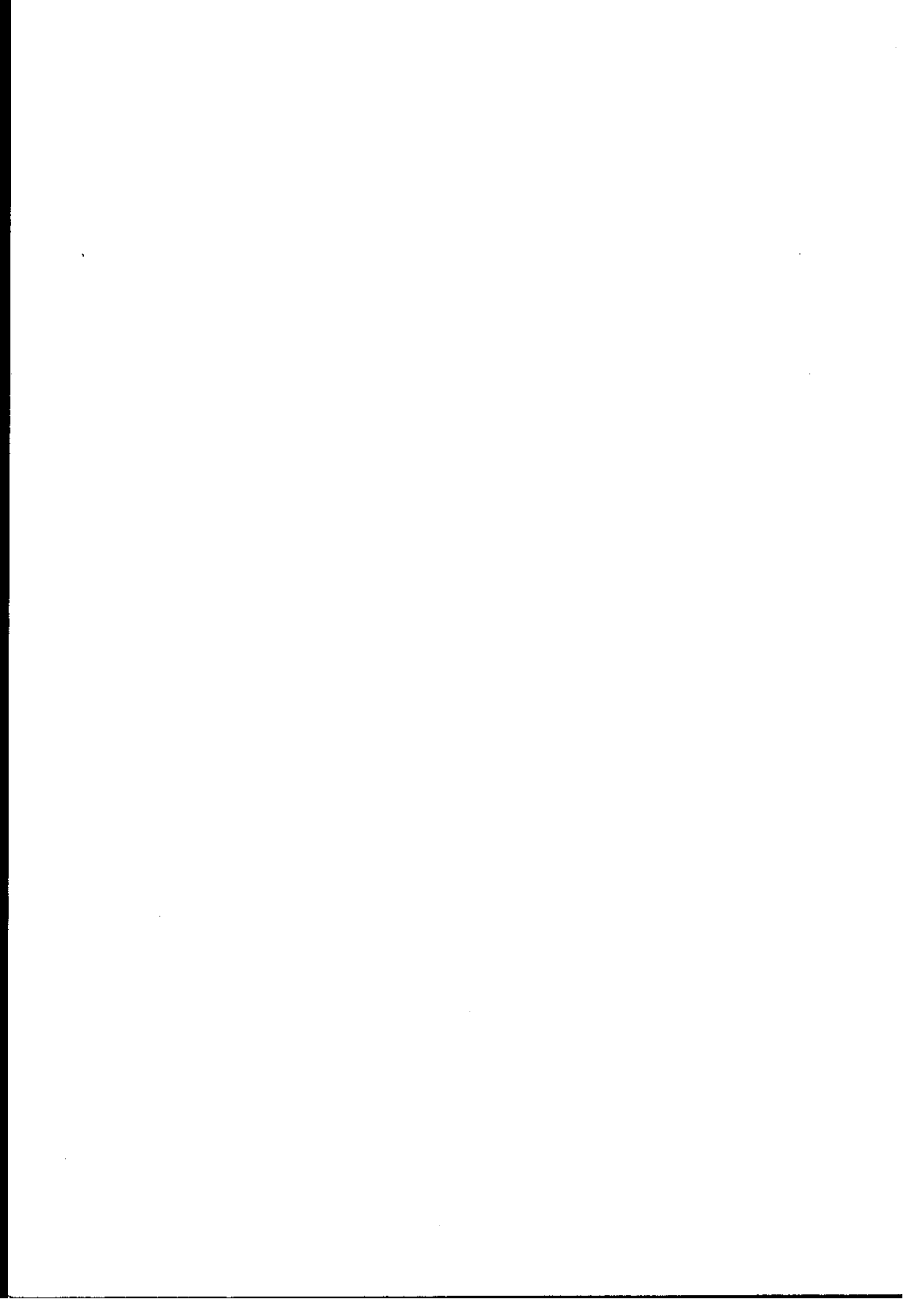
the 1990s, the number of people in the UK who have been diagnosed with a mental health problem has increased by 50% (Mental Health Act 1983). The increase in the prevalence of mental health problems has been attributed to a number of factors, including the increasing incidence of mental health problems, the increasing awareness of mental health problems, and the increasing willingness of people to seek help for their mental health problems (Mental Health Act 1983).

The increase in the prevalence of mental health problems has led to a corresponding increase in the number of people who are in contact with mental health services. In the UK, there are currently over 1 million people who are in contact with mental health services (Mental Health Act 1983). This includes people who are in contact with mental health services through the criminal justice system, people who are in contact with mental health services through the health care system, and people who are in contact with mental health services through the social care system. The increase in the prevalence of mental health problems has also led to a corresponding increase in the number of people who are in contact with mental health services through the criminal justice system. In the UK, there are currently over 1 million people who are in contact with mental health services through the criminal justice system (Mental Health Act 1983).

The increase in the prevalence of mental health problems has also led to a corresponding increase in the number of people who are in contact with mental health services through the health care system. In the UK, there are currently over 1 million people who are in contact with mental health services through the health care system (Mental Health Act 1983). This includes people who are in contact with mental health services through the primary care system, people who are in contact with mental health services through the secondary care system, and people who are in contact with mental health services through the tertiary care system. The increase in the prevalence of mental health problems has also led to a corresponding increase in the number of people who are in contact with mental health services through the social care system. In the UK, there are currently over 1 million people who are in contact with mental health services through the social care system (Mental Health Act 1983). This includes people who are in contact with mental health services through the residential care system, people who are in contact with mental health services through the community care system, and people who are in contact with mental health services through the day care system.

The increase in the prevalence of mental health problems has also led to a corresponding increase in the number of people who are in contact with mental health services through the criminal justice system. In the UK, there are currently over 1 million people who are in contact with mental health services through the criminal justice system (Mental Health Act 1983). This includes people who are in contact with mental health services through the police, people who are in contact with mental health services through the courts, and people who are in contact with mental health services through the probation service. The increase in the prevalence of mental health problems has also led to a corresponding increase in the number of people who are in contact with mental health services through the health care system. In the UK, there are currently over 1 million people who are in contact with mental health services through the health care system (Mental Health Act 1983). This includes people who are in contact with mental health services through the primary care system, people who are in contact with mental health services through the secondary care system, and people who are in contact with mental health services through the tertiary care system.

<u>Indhold:</u>	<u>Side</u>
Palle Nepper-Christensen:	
Cementtyper	5
Preben Christensen:	
Tilslagsmaterialer i 1980-erne	11
Chr. F. Justesen:	
Silicabeton	19
Torsten Mølgaard:	
Anvendelse af silicabeton - stade	25
Finn Strabo:	
Fiberbeton	37
Ulla Kjær:	
Tilsætningsstoffer til beton	41
Chr. F. Justesen:	
Betonveje	47
Anders Nielsen:	
Reparationsteknologi I	51
Niels Ole Damsager Hansen:	
Reparationsteknologi	59
Peter Thorup:	
Betonrecepter - altanreparationer i BPS-regie	67
Mogens Remmer og K. Roger Henriksen:	
Farøbroerne	77



Aalborg Portland/CtO-
Cementfabrikkernes tekniske Oplysningskontor

CEMENTTYPER

Civilingeniør
Palle Nepper-Christensen

AUGUST 1982

CEMENTTYPER

I de seneste år er der sket en del ændringer i sammensætningen og brugsegenskaberne hos de cementtyper, der produceres og anvendes i Danmark.

Disse ændringer er motiveret 1) dels af fremkomsten af nye råmaterialer, først og fremmest flyveaske, til cementfremstilling, 2) dels af et ønske fra cementindustriens side om at tilpasse sig ændrede behov på det betonproducerende marked, 3) og endelig af et ønske om at tilpasse produktkvaliteter til de krav og muligheder, som en fremtidig international standardisering på cementområdet byder.

Disse nye muligheder, behov og krav er grundlaget for det produktprogram, som i dag er til rådighed for den danske betonverden. Når det indledningsvis er nævnt, at de ændrede cementfremstillingsprocesser har resulteret i ændrede brugsegenskaber, tænkes der her især på forbedrede holdbarhedsmæssige egenskaber, idet der har været fastholdt en målsætning om, at cementernes styrkeegenskaber, der i vid udstrækning er afgørende for betonens cementindhold og økonomi, i det væsentlige skulle forblive uændrede i forhold til hidtidige niveauer.

1. Flyveaske

Hvad fremkomsten af flyveaske i store mængder og af god kvalitet har betydet for cementproduktionen, dels som råmateriale i stedet for ler ved cementklinkerproduktionen, dels som råmateriale til indformaling i den færdige cement, har der været redegjort for i foredrag i Dansk Betonforening

ved forskellige lejligheder. Så det skal der ikke gås nærmere ind på her, men det vil blive kommenteret i relation til om-talen af nye normer og standarder.

2. Ændrede behov

De senere års erkendelse af, at der gennem en forbedret betonteknologi bør sikres vore betonkonstruktioner en bedre holdbarhed end hidtil, har også ført til ønsker fra brugerside om, at den anvendte cement i så vid udstrækning som teknisk og økonomisk gør ligt, gennem sin sammensætning, til-sikrer størst mulig holdbarhed af betonmaterialet. Indgående drøftelser om dette spørgsmål for nogle år siden mellem Vej-direktoratet, Storebæltsgruppen og Aalborg Portland resul-terede i, at Aalborg Portland gennemførte en kraftig udbyg-ning af sin kapacitet til fremstilling af såkaldte sand/-kridt-cementer, hvorved forstås cementer, der er fremstillet hovedsagelig på basis af kridt og formalet kvartssand. Så-danne cementer er karakteristiske ved, at deres alkaliindhold er særligt lavt, hvorved resistens overfor alkalikiselerreak-tioner sikres, og ved at deres indhold af tricalciumaluminat (C_3A) er meget lavt, hvorved resistens overfor sulfatan-greb, f.eks. fra havvand, sikres.

Sådanne sand/kridt-cementprodukter markedsføres i dag af Aalborg Portland under betegnelsen Lavalkali Sulfatbestandig Cement og Hvid Portland-Cement og finder stærkt stigende anvendelse til særligt udsatte betonkonstruktioner.

Også udviklingen af Standard-Cement, der er en cement med omkring 25% indformalet flyveaske, kan ses i dette lys, idet brugen af Standard-Cement reducerer risikoen for såvel alkalikiselerreaktioner som for svigtende sulfatbestandighed.

3. Normer og standarder

På europæisk plan er man ved at færdiggøre et forslag til en fælleseuropæisk standard for cementtyper til konstruktions-formål.

Denne standard, der kommer til at omfatte definitioner, specifikationer og prøvningsmetoder, udarbejdes af den europæiske normkomité (CEN)'s udvalg TC 51. Forslaget, der nu er såvidt, at der næppe kan ventes større ændringer i den afsluttende fase, opererer med 4 forskellige hovedtyper af cement, således som det er vist i SKEMA 1.

I Danmark har man som bekendt i nogen grad foregrebet begivenhedernes gang, idet DS 427 er ændret, så der tillades op til 5% flyveasketilsætning i portlandcement, og der er i DS 427 indført en ny cementtype - portlandflyveaskecement - der kan indeholde maksimalt 35% flyveaske.

I SKEMA 2 er vist, hvordan Aalborg Portlands produktprogram passer ind i den kommende europæiske standard, ligesom der er angivet typiske, karakteristiske brugsegenskaber for disse produkter.

CEMENTSTANDARD - CEN TC 51 FORSLAG

Gruppe	Produktnavn	Sammensætning (%)				
		Klinker+gips	Slagge	Puzzolan Naturl.	Puzzolan Flyve- aske	Filler
I	Portland-Cement	95-100		0-5		
II-S	Portland-Slagge-Cement	65-90	10-35	0-5		
II-Z	Portland-Puzzolan-Cement	65-90	0-5	10-35	0-5	
III	Slagge-Cement	20-64	36-80	0-5		
IV	Puzzolan-Cement	≥ 60	—	≤ 40	—	—

Gruppe/Type	Aalborg Portland's produkter	Typiske brugsegenskaber				Varmeudvikling
		Cementstyrke (MPa)	Alkali-kisel-resistens	Sulfatbestandighed		
I/Portland-Cement	Portland-Cement (5% flyveaske)	49	-	-	-	Middel
	Rapid-Cement (5% flyveaske)	56	-	-	-	Højere
	Lavalkali Sulfatbestandig Cement (0% tilsætning)	50	+ (<0,4% alkali)	+	+	Lavere
	Hvid Portland-Cement (0% tilsætning)	62	+ (<0,3% alkali)	+	+	Højere
II-S/Portland-Slagge-Cement	Ingen	-				
II-Z/Portland-Puzzolan-Cement	Standard-Cement (ca. 25% flyveaske)	49	(+)	(+)	(+)	Middel
III/Slagge-Cement	Ingen	-				
IV/Puzzolan-Cement	Ingen	-				

SKEMA II

KROGHS STENLAB A/S
Klim Strandvej 284
9690 Fjerritslev

Tilslagsmaterialer i 1980-erne

af

Preben Christensen, Geolog, mag. scient.

AUGUST 1982

INTRODUKTION

Der vil i Danmark næppe være mangel på tilslagsmaterialer til beton, hverken nu eller i en lang fremtid. Der er derimod væsentlige mangler i den viden, der burde have været til stede m.h.t. kvalitetsegenskaberne af de til rådighed værende materialer hos såvel leverandører som brugere. Denne mangel på viden afspejler sig i flere forskellige forhold:

- Uventede skader på betonkonstruktioner
- Stærkt varierende kravformuleringer i udbudsbetingelserne.

Når dertil kommer den nuværende, kriseagtige stemning i de berørte brancher, samt råstoflovens planlægningstiltag er det varskeligt at forestille sig, at der overhovedet er en fremtid at få øje på.

En nylig udkommen bog fra Fredningsstyrelsen -Produktion og forbrug af grus- analyserer situationen og søger at opstille nogle forventede udviklingstendenser, baseret på logiske følgeslutninger.

Bogen opstiller følgende forventninger:

- Der vil udvikles et mindre antal stationære produktioner, der fremstiller kvalitetsprodukter.
- Der vil udvikles et stort antal mobile produktioner, der fremstiller mindre forædlede produkter.
- Der vil ske en regional differentiering af produktionen, der flytter vestpå.
- Der vil blive nedlagt et antal produktionssteder i Ø-Danmark.

Hidtil er det de frie kræfters spil, der har styret udviklingen og været udslagsgivende ved de beslutninger af fremadrettet karakter, der er truffet. Efter 1972 har også råstofloven medvirket til at justere udviklingen. En egentlig styring finder p.t. ikke sted, men tendenserne med udlægning af graveområder er et skridt på vejen. En anden tendens er de forarbejder der er i gang m.h.t. "råstofhusholdning" - anvendelse af materialer i forhold til deres kvalitet - der peger mod en egentlig styring af forbruget. Hvorledes dette vil fungere kan kun tiden vise.

NORMER OG STANDARDER

Normer og standarder er normalt konservative og virker ikke befordrende på udviklingen. Derfor afspejler udbudsbetingelserne til konkrete projekter mere den løbende holdning til materialekvaliteter. Sommetider også en manglende holdning dertil. De senere års kvalitetsbeskrivelser har centreret mere og mere mod "porøse og skadelige" korn i både sten- og sandfraktionerne, ud fra ønskerne om at undgå frostspringere af alkalikiselreaktioner. Der er set et virvar af krav og kravformuleringer, der gør det vanskeligt for både grusproducenter og betonproducenter at fastlægge deres materialekvalitet. Måleteknisk er det ligeledes uheldigt, at ensartetheden i kravene ikke er større. Accelererede prøvemethoder påkalder sig interesse. Undertiden er forbindelsen til virkeligheden vanskelig at få øje på. Dette gælder både frostprøvemethoder og metoder til accelereret alkalikiselreaktivitetsmåling. Man kan som regel ved passende metodevalg sikre ødelæggelse i laboratoriet, mens det samme langt fra altid sker i naturen. Der kan formodentlig også findes eksempler på det modsatte.

Som et forsøg på at etablere lidt mere ensartede krav til betontilslagsmaterialer udgiver CTO i efteråret en Beton-Teknik om sten og sand til beton, indeholdende et klassifikationsforslag. Tilhørende prøvemethoder vil blive udgivet som TI-information. Forslaget opererer med 4 materialeklasser svarende til betonnormers miljøklasser, samt særligt aggressivt miljø.

Kravene grupperes i

- Absolutte krav til sikring af holdbarhed
- Relative krav til sikring af ensartethed
- Regler for kontrollens hyppighed.

Det ville i den forbindelse være ønskeligt med en kritisk gennemgang og vurdering af eksemplerne på miljøplacering af konstruktioner i betonnormen. Byggetekniks tilstandsvurderinger af udvendige bygningsdele viser bl.a. at langt fra alle udvendige dele af konstruktioner kan henføres til miljøklasse B. Iøvrigt var det mere logisk at operere med 4 miljøklasser, hvad der reelt er i normen.

Forslaget til klassifikation er udarbejdet på grundlag af en analyse af den nuværende viden, der ligeledes sammenfattes.

Forslaget er således motiveret og bør ses som et forsøg på at åbne en debat, der måske senere vil kunne føre til etablering af en ny norm. Forslaget skal også betragtes som et bidrag til den debat vedrørende råstokkortlægningens fase II, kortlægning af kvalitetsegenskaber, der så småt er startet netop nu. Endelig er forslaget begrundet idet faktum, at ny teknologi i grusbranchen - tungvæskesortering og jigning - udbredes og er ved at være relativt almindeligt, i alt fald i Jylland. Dette medfører et udbud af vægtfyldesorterede, danske sten, hvoraf de bedste holdbarhedsmæssigt er på højde med nedknust klippegranit, men betonteknologisk bedre på grund af en afrundet kornform.

UDVIKLINGSTENDENSER

De betonteknologiske udviklingstendenser er mange, f.eks.:

- Øget anvendelse af tilsætningsstoffer - luft, plast, superplastificering.
- Reduceret vandindhold i betonerne, lavere v/c-tal, lavere cementindhold.
- Anvendelse af flyveaske, silicastøv og fibre.
- Anvendelse af alkalinaktivt sand i øget omfang.
- Betoner med øget stenindhold.
- Pumpning, vacuumbehandling, forbedret vibrationsteknik. Forbedret veje og doseringsudstyr.
- Hærdeteknologi og efterbehandling.

Eksempelvis søgte man ved Vejdirektoratets forsøgsbro over Ry A at tage mange af disse tendenser ind i et praktisk forsøg, og resultatet har indtil videre vist sig tilfredsstillende. Der er bygget en bro, hvor betonen i brodækket befærdes direkte uden isolering og belægning. Trods uheldige omstændigheder ved broens åbning lige før jul 1981 er den god og intakt.

Betonen anvendt i brodækket var sammensat således:

PC ALS	300 kg/m ³
Silica	45 -
Vand	120 -
Sand, Voervadsbro + Ousen	650 -

Sten, Vigsø + Lyngså 1200 kg/m³

Betonen er luftblandet og superplastificeret til et sætmål på 6-8 cm. Betonene er pumpet.

En rapport vedrørende forsøgsbroen udgives af Vejdirektoratet i efteråret 1982.

M.h.t. en række af udviklingstendenserne er der grund til at løfte en advarende pegefinger. Hvad især angår tilslagsmaterialerne følgende:

Efter alkaliudvalgets arbejder i 1950'erne ændredes brugen af sten fra danske sten til nedknuste klippematerialer, hvorved alkalikiselreaktionerne blev koncentreret i sandfraktionen. Netop nu er der så stor bevågenhed om sandet, samtidig med at der kan spores øget anvendelse af danske sten, hvilket er ønskeligt. Blot må det sikres, at de sten der indgår i disse betoner ikke er reaktive idet reaktionerne så vil udløses i stene der hidtil ikke har været noget problem. De skulle ikke gerne gå hen og blive det i fremtiden.

M.h.t. klippegranit har flere undersøgelser af betoner - ikke danske - vist kraftige alkalikiselreaktioner udviklet i granitiske stenmaterialer. Dette gælder også Nordiske betoner. Dette illustrerer at intet nødvendigvis er helt sikkert, og der kan også i Danmark spores et velbegrundet ønske om at få opstillet godkendelsesregler for nedknuste klippematerialer såvel i henseende til holdbarhed som i henseende til betonens øvrige egenskaber. I mikroskop er der helt utvetydige forskelle på de granitiske materialer, mens alle der importeres makroskopisk må klassificeres som "Stærke og Sunde". Vejdirektoratets granitbeton til broer gennem 1960'erne og 1970'erne var jo ingen ubetinget succes. Det er så interessant at se hvad DSB vælger til deres broer i 1980'erne og 1990'erne. Forsvarets Bygningstjeneste synes at have erkendt, at Dansk beton bør fremstilles af Danske sten.

Tilslagsmaterialeindustriens udvikling og kvalitetsbevidsthed er overordentlig vanskelig at få øje på.

"Varen sælges som den forefindes i vore grave/havne. Kvalitets-

kontrollen påhviler brugerne og der gives ingen garanti for handelsvarerne, der er naturprodukter og derfor undergivet de svingninger, der er almindelige for sådanne", er stadig nøgleordene i salgs- og leveringsbetingelserne fra de leverandører der overhovedet lover noget som helst.

Dette er uacceptabelt for brugerne og klart uholdbart i længden.

Maskinteknologisk har der været en vis udvikling. Der er investeret i tungvæskesorteringsanlæg i to virksomheder og i jigger i adskillige. Forbedret sandbehandling er også set, især m.h.t. vask, sigtning og sammendosering af forskellige råmaterialer for at opnå mere ensartede produkter. Enkelte virksomheder har også fundet ud af at holde knuste og uknuste sten adskilt fra hinanden, eller sammenblander dem i bestemte mængdeforhold.

Især i Jylland anvendes en del - om ikke mobile så dog flytbare - anlæg til udvinding af sten fra stenfattige forekomster eller i forbindelse med entreprenørarbejder. Som helhed har investeringerne dog oftest drejet sig om besparelser i den interne transport og håndtering, hvilket har været nødvendigt i nogle år, samt i kapacitet snarere end i kvalitet. Dette svarer nøje til de forventninger der opstilles i Fredningsstyrelsens bog. Et interessant udviklingsprojekt skal omtales kort. En virksomhed har udviklet et mobilt sigtesystem monteret på gummihjul, der med høj kapacitet kan sigte op til 6 forskellige fraktioner. Udstyret kører fra sted til sted trukket af en læsemaskine. Sigtesystemet kombineres med et tilsvarende mobilt system monteret med to jigger til vægtfyldesortering af dertil egnede, sigtede sten. Endelig vil systemet blive suppleret med en mobil knuserenhed. Energiforsyningen baseres på hydraulik, således at systemet er uafhængigt af tilgang til elektricitet. Også vandforsyning medbringes i et vist omfang til vask af materialer i et lukket system.

Hensigten med udstyret er at være i stand til at fremstille varer med kontrollerede og deklarerede egenskaber af dertil egnede råmaterialer, nær forbrugsstedet.

Dette er en udvikling der rækker udover Fredningsstyrelsens

forudsigelser, og som indebærer en række interessante perspektiver for brugerne.

Kvalitetskontrol og varedeklarationer var forudset i DS 401 2. udgave, men er ikke rigtigt slået igennem. Enkelte virksomheder udsender en art varedeklarationer, der har karakter af information om hvad kvaliteten var, men er uegnet til at opstille forventninger om hvad den vil blive i fremtiden. Egentlige kvalitetsstyringssystemer er ikke set anvendt i grusbranchen endnu, men er under udvikling et par steder.

Dette er måske delvis forståeligt, fordi mange bygherrer og rådgivende ingeniører er tilfreds med en eengangsprøvning i forbindelse med godkendelse af materialer til en konstruktion og ikke forlanger en løbende prøvning endsige talbehandling. Dette er svært at forstå i betragtning af den iver der lægges for dagen m.h.t. styrkekontrol af den hærnedede beton.

De offentlige myndigheder har ligeledes bidraget til udviklingen. Siden 1972 har indvindingen af grusmaterialer været reguleret af råstofloven. Dette betragtes stadig af mange virksomheder som en klods om benet, egnet til at forplumre tilværelsen for så mange som muligt. På trods heraf har meget få administrative afgørelser været prøvet ved domstolene. Det vil imidlertid være nødvendigt for alle parter at erkende, at råstofloven er kommet for at blive, at det administrative system udvikles efter de retningslinier der er i loven, at kortlægning osv. udføres, og at indvindingen vil blive mere og mere reguleret. Dette er også både ønskeligt og nødvendigt i et kompliceret samfund. Skulle noget påpeges må det være, at det var ønskeligt med en nærmere koordinering af praxis amterne imellem, således at virksomhederne kunne konkurrere på mere ensartede vilkår. På grund af naturgivne forskelligheder er en vis differentiering naturligvis nødvendig, men at vilkårene skal være forskellige på hver sin side af en amtsgrænse er uforståeligt. Den offentlige regulering vil blive mere og mere mærkbar. I forbindelse med udarbejdelse af råstofkortene vil blive udlagt graveområder, indenfor hvilke aktiviteten vil blive koncentreret. Der må ventes store vanskeligheder ved at opnå gravetiladelser udenfor disse områder.

I det lange perspektiv opereres med tanker om "råstofhusholdning" - anvendelse af råstofferne i forhold til deres kvalitet. En arbejdsgruppe har behandlet facetter af dette, og en ny er kommet til, der skal udarbejde retningslinier for kortlægning af råstofkvaliteter. Det er umiddelbart klart, at resultaterne skal anvendes til noget, in casu styring. Der kan tænkes forskellige modeller, der alle bør indeholde muligheden for at sand og sten med gode betonteknologiske egenskaber reserveres for denne industri. En mulig vej var at differentiere råstofafgifterne efter en model der animerer til optimalt brug af en given forekomst.

Slutning.

Grusindustrien befinder sig netop nu i en brydningssituation, forstærket af de kriseagtige tilstande. Brugerne er kun delvis i stand til at nyttiggøre investeringer i fabriktionsanlæg fordi grusmaterialerne er for dårlige og uensartede. Hovedkriteriet for valg bliver derfor oftest prisen. Grusindustrien synes at vise meget lidt forståelse herfor, og manglende investeringslyst på grund af de lave priser. Dette er en ond cirkel, som det ikke er umiddelbart klart hvorledes kan brydes. Bygherren er i regelen temmelig ligeglad med gruspriserne, fordi dette er marginalt i forhold til det samlede bygværks pris. Nærværende forfatter tror, at den udfarende kraft må komme fra grusbranchen. Ved hjælp af et udbud af bedre varer, suppleret med objektiv information derom, bør det være muligt at nå en tilstand der er kvalitetsmæssig og økonomisk tilfredsstillende for alle impliceret i fremstilling og forbrug af betontilslagsmaterialer. Dette ville også være gavnligt for konstruktionernes holdbarhed på længere sigt.

Aalborg Portland/CtO-
Cementfabrikkernes tekniske Oplysningskontor

SILICABETON

Civilingeniør
Chr. F. Justesen

August 1982

SILICABETON

Silicastøv er et højværdigt produkt, som ved tilsætning til betonen forbedrer egenskaberne i såvel frisk som hærnet tilstand på en række punkter. I foredraget gives en kort oversigt over, hvorledes man ved arbejdet kan drage nytte af silicastøv.

Silicastøv udvindes som et biprodukt ved fremstilling af ferrosilicium metaller. Råmaterialerne kvarts, træ og jern føres kontinuert til en stor smelteovn, hvori der er placeret nogle store elektroder. I en lysbue smelter kvartsen og reagerer kemisk, så ferrosiliciummetallet dannes. Samtidig dannes en gas (SiO), som damper op og reagerer med luftens ilt. Røggasserne renses i en posefilterinstallation. Herved udskilles silicastøvet som for 88 - 96% vedkommende består af SiO_2 . Tidligere blev silicastøv betragtet som et affaldsprodukt, som bl.a. gav deponeringsproblemer. I dag står det imidlertid klart, at silicastøv besidder en række enestående egenskaber, som kan udnyttes i bl.a. den keramiske industri, plastindustrien, gødningsindustrien samt cement- og betonindustrien.

Silicastøvpartikler er kugleformede og har en middeldiameter på $0,1 \mu\text{m}$, dvs. ca. $1/100$ af cementpartikler. Den absolutte densitet er omkring 2200 kg/m^3 , mens bulkdensiteten varierer fra 200 til 600 kg/m^3 , alt efter hvor meget støvet kompakteres. I beton benyttes silicastøv enten i pulverform eller i slurryform, dvs. en vandig opslemning af støvet.

Silicastøv anvendes på 2 forskellige måder i beton:

1. Til fremstilling af Densit-beton, dvs. beton med ekstrem høj styrke ($100 - 280 \text{ MN/m}^2$), lavt vand/pulverforhold ($0,14 - 0,22$) og gode udflydningsegenskaber kombineret med god indre sammenhæng. Ved denne anvendelse kombineres relativt store silicastøvmængder med højt indhold af såvel cement som superplastificeringsstof, hvorved de nævnte egen-

skaber opnås.

2. Til fremstilling af beton, hvor silicatilsætningen når op på maksimalt 10% af bindemiddelmængden. Derved opnås mere moderate ændringer af betonegenskaberne.

Foredraget omhandler udelukkende punkt 2, og i det følgende gøres rede for egenskabsændringerne.

Silicastøvetts effekt i cementpastaen

Silicastøvetts effekt i cementpastaen kan forklares ved 2 forskellige virkninger:

1. Fillervirkningen. Da silicapartiklerne er ca. 100 gange mindre end cementpartiklerne, kan de udfylde mellemrummene mellem disse, hvorved opnås en langt bedre pakning og et mindre vandbehov. Samtidig udgør partiklerne vækstpunkter for cementens reaktionsprodukter.
2. Puzzolanvirkningen. Silicastøv har puzzolanegenskaber, dvs. det er et kiselmateriale, som ikke i sig selv har bindemiddelkarakter, men ved normale temperaturer vil det reagere med calciumhydroxid og derved danne svært opløselige produkter med bindemiddelkarakter. Calciumhydroxiden kommer fra cementens reaktion med vand, og herefter er silica-støvet i stand til at give et ekstra bidrag til bindemiddelmængden.

Den friske beton

Når der tilsættes silicastøv til betonen vil den friske beton blive langt mere sammenhængende end normalt. *Anvendes der ingen former for plastificeringsstoffer vil vandbehovet vokse ca. 20% ved en silicatilsætning på ca. 10% af cementmængden. Samtidig vil man opnå en dårlig fordeling af silicapartiklerne og dermed en utilfredsstillende beton. Det er derfor særdeles vigtigt at tilsætte enten almindelig plastificeringsstof eller su-*

perplastificeringsstof, når der anvendes silicastøv. Derved dispergeres silicapartiklerne og kan pakkes mellem cementkornene. Silicabeton kræver, for samme sætmål som en referencebeton uden, en kraftigere bearbejdning end referencebetonen.

Tendensen til vandudskillelse (bleeding) og afblanding ved udstøbning er stærkt reduceret for beton med silicastøv. Denne store fordel bevirker, at der vil være en større tendens til udtørring af den friske betons overflade, hvilket giver øget risiko for fremkomst af plastiske svindrevner. Det er derfor vigtigt, at overflader på beton med silicastøv tildækkes omhyggeligt hurtigst muligt efter udstøbningen f.eks. ved påsprøjtning af curingmembran.

Hærdeforløb

Hvis en beton med ca. 10% silicastøv af cementmængden er proportioneret til at give samme 28 døgnsstyrke som en referencebeton uden vil styrkeudviklingen de første 7 dage forløbe en del langsommere end for referencebetonen. Det er vigtigt at tage denne effekt i betragtning ved fastsættelse af afforskalingstidspunkt specielt i koldt vejr. Ved vinterstøbning med silicabeton bør man altid anvende opvarmet beton og isolere udstøbningen.

Den hærtnede beton

Praktiske erfaringer med silicabeton viser, at silicastøv bidrager 2 - 4 gange så meget til styrken som cement. Elasticitetskoefficienten er stort set uændret for samme styrke sammenlignet med en referencebeton.

Tilsætning af silicastøv til betonen medfører en voldsom forøgelse af betonens tæthed. Dette bevirker en øget bestandighed overfor aggressive stoffer (f.eks. sulfater, nitrater og chlorider) i omgivelserne.

Tætheden bevirker desuden, at frostbestandigheden øges.

Ved tilsætning af 10% silicastøv i forhold til cementmængden reduceres risikoen for skadelige alkalikiselreaktioner væsentligt.

Silicabeton yder mindst lige så god beskyttelse mod korrosion som en tilsvarende beton uden.

Anvendelse

Tilsætning af silicastøv kan anvendes med det formål at gøre betonen stærkere og mere holdbar, dvs. til alle betonkonstruktioner og betonprodukter, der udsættes for vejrliget samt konstruktioner, der skal være tætte.

Silicabetonens gode indre sammenhæng gør den desuden velegnet til sprøjtebeton og undervandsbeton.

Referencer:

Sellebold, E. J.: "Bruk af silika i betong. Silika, hvem, hva, hvor? Virkemåde som puzzolan og filler". Norske Sivilingeniørers Forening. Kursus vedrørende bruk av silika i betong. 1982.

Løland, K. E. og Gjorv, O. E.: "Silikabetong", Nordisk Betong 6-1981.

Fagerlund, G.: Diskussionsindlæg avseende artiklen "Silikabetong", Nordisk Betong 1:1982.

Projektet Silika i betong, FCB, Trondheim, 1981:

Delrapport 1: "Fersk betong og metode for resultatbehandling".

Delrapport 2: "Mekaniske egenskaber". Delrapport 3: "Korrosionsegenskaber".

Delrapport 4: "Permeabilitet". Delrapport 5:

"Frostbestandighed". Delrapport 6: "Langtidseffekter".

Hjorth, L.: "Beton og silicastøv", Beton-Teknik under udarbejdelse.

"SilicaMix", Aalborg Portland brochure, 1982.

"Specialinformation om Elkem Silica i Betong", Elkem, Oslo, 1981.

DANSK BETONFORENING

COWICONSULT

Rådgivende Ingeniører AS

Teknikerbyen 45

2830 Virum.

ANVENDELSE AF SILICABETON - STADE

Civilingeniør Klaus H. Ostenfeld

Akademiingeniør Torsten Mølgaard

August 1982

ANVENDELSE AF SILICABETON - STADE

Indledning

Cowiconsult har siden slutningen af 60'erne arbejdet med holdbarheds-og vedligeholdelsesproblematikken omkring betonkonstruktioner.

Arbejdet har bl.a. omfattet deltagelse i det generelle arbejde, som Vejdirektoratet i de senere år har igangsat med henblik på at klarlægge betonskader og disses årsagssammenhænge (jfr. Vejdirektoratets rapporter om Betons Holdbarhed). Som et naturligt led i dette - ofte tilbageskuen- de - arbejde, har blikket også været vendt fremad med henblik på at finde nye materialer og udførelsesmetoder, som kunne give mere holdbare konstruktioner.

Superplastificerende tilsætningsstoffer, fibre, silica m.m. er nogle af de materialer som - i flere sammenhænge - og efter at udenlandske erfaringer har antydnet lovende muligheder, har været og fortsat er under overvejelse med henblik på at forbedre betonens holdbarhed.

For Vejdirektoratet og DSB - og i samarbejde med Teknologisk Institut, Aalborg Portland Cement- og Betonlaboratoriet, Danmarks Tekniske Højskole, BKF-Centralen, Færdigbeton og KH-Beton - har Cowiconsult siden 1979 medvirket i fire projekter, hvor der forsøgsvis er anvendt silica-beton. Der er i alle fire projekter tale om anlægskonstruktioner i et aggressivt miljø med frost/tø/tøsaltpåvirkninger. Anvendelse af silica-beton er i disse tilfælde sket ud fra holdbarhedsmæssige overvejelser, og således ikke motiveret af eventuelle fordele m.h.t. økonomi, styrke eller udstøbelighed.

De fire projekter er:

- Vaske- og rengøringsspor på Frederikshavn ny banegård (1979)
- Kantelementer til Fiskebækbroen (1980)
- Kantelementer til Fiskebækbroen (1981)
- Forsøgsbro over Ry å (1981)

I det følgende er først givet en kort beskrivelse af de enkelte projekter, og derpå samlet givet de væsentligste iagttagelser, der er gjort i forbindelse med udførelsen - herunder specielt iagttagelser der må formodes at have indflydelse på anlæggenes holdbarhed. Hvad angår det omfattende forsøg med broen over Ry å skal omtalen her begrænses til en overordnet beskrivelse af projektet og af det gennemførte program, idet der for en fuldstændig redegørelse henvises til Vejdirektoratets rapport herom, som er under udarbejdelse. Afslutningsvis er givet de foreløbige konklusioner, som man forsigtigvis kan drage på nuværende tidspunkt.

Som gennemgående træk er der i alle fire projekter anvendt blandinger, hvor cement og silicaindholdet er varieret. I figur 1 er i et cement/silicadiagram vist, hvilke cement- og silicaindhold der har været anvendt i de fire projekter.

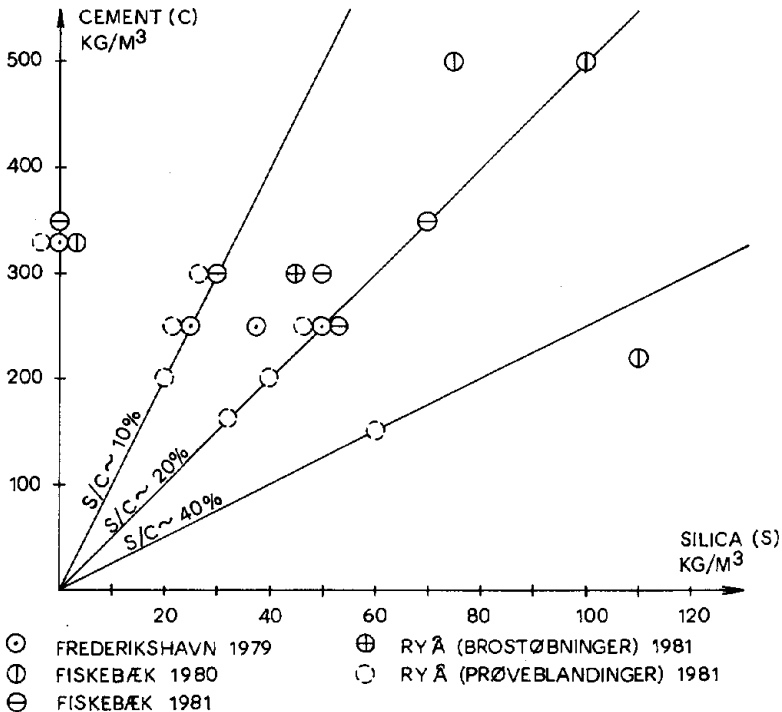


Fig. 1 Cement/silica-indhold

I alle projekter indgår endvidere referencebetoner, som er traditionelle høj kvalitetsbetoner svarende til eksisterende praksis men uden silica-tilsætning.

Forsøgsprojekter

Vaske- og rengøringsspor på Frederikshavn ny banegård (1979)

Forsøget omfatter en ca. 80 m lang og ca. 30 cm tyk betonbelægning, som er opdelt i 13 prøvefelter udstøbt med forskellige betonblandinger. Et tværsnit af belægningen er vist på fig. 2.

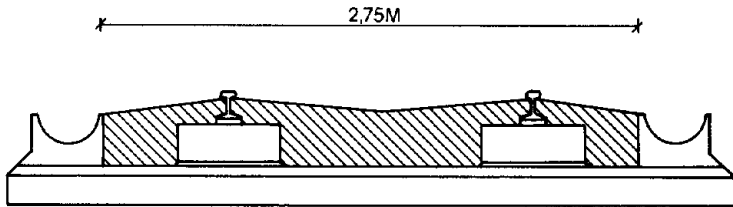


Fig. 2 Tværsnit af vaske- og rengøringsspor

I forsøget indgår betoner med et silicaindhold på 10, 15 og 20% af cementindholdet i kombination med almindelig cement, PC(A), og almindelig lavalkali sulfatbestandig cement, PC (A/L/S).

Silicabetonerne havde følgende indhold af cement, silica og vand samt følgende ækvivalente v/c-forhold:

NR		A1	A2	A3	A4	A5
Cement (C) PC(A)	kg/m ³	250	-	250	-	-
Cement (C) PC(A/L/S)	kg/m ³	-	250	-	250	250
Silica (S)	%	10	10	15	15	20
Vand (V)	kg/m ³	128	130	138	145	138
v/(c + k x S)	kg/m ³	0.39	0.40	0.38	0.40	0.35

Det ækvivalents v/c-forhold er - på baggrund af norske undersøgelsesresultater - hér og i det følgende bestemt under anvendelse af en aktivitetsfaktor for silicaen på 3 ved cementindhold ≤ 300 kg/m³ og på 2 ved cementindhold > 300 kg/m³.

Alle betonerne er luftindblandede og normalplastificerede med et konstant indhold af tilsætningsstof pr. kg cement.

Kantelementer til Fiskebækbroen (1980)

Med baggrund i de mange holdbarhedsskader, som iagttages på de miljømæssigt meget hårdt belastede kantelementer, har det været naturligt at anvende kantelementer til afprøvning af nye betonsammensætninger.

Forsøget med kantelementer til Fiskebækbroen (1980) omfatter 15 stk. ca. 4,5 m lange elementer, som er udført med 5 forskellige betontyper. Et tværsnit af kantelementer er vist på fig. 3, idet det bemærkes, at elementerne støbtes med undersiden opad.

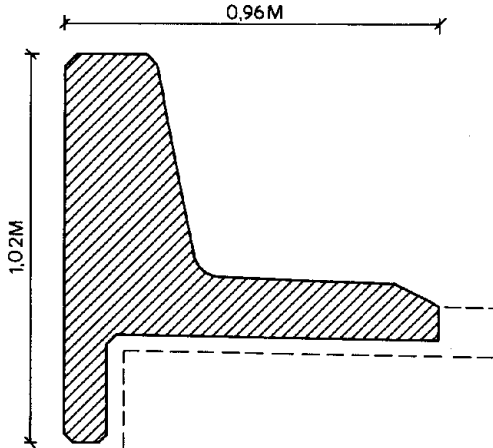


Fig. 3 Tværsnit af kantelement

Udover en referencebeton og en fiberbeton uden silica omfatter forsøget en fiberarmeret silicabeton, en højstyrke silicabeton samt en beton med lavt cementindhold i kombination med et højt silicaindhold.

Silicabetonerne havde følgende indhold af cement, silica og vand samt følgende ækvivalente v/c-forhold:

NR		B1	B2	B3
Cement (C), PC(A/L/S)	kg/m ³	500	500	220
Silica (S)	%	15%	20%	50%
Vand (V)	kg/m ³	196	112	100
v/(c + k x s)	kg/m ³	0.30	0.16	0.18

Den fiberarmerede silicabeton, beton B1, havde desuden et indhold af Krenitfibre (polypropylenfibre) på 1,25% samt et indhold af flyveaske på 225 kg/m³. Sidstnævnte giver med en aktivitetsfaktor for flyveasken på 0.5 et ækvivalent v/c-tal på 0.26.

Alle betonerne er superplastificerede og beton B3 er desuden - uden effekt - luftindblandet.

Kantelementer til Fiskebækbroen (1981)

Forsøget omfatter 21 kantelementer, som er fremstillet med fem forskellige silicabetoner og én referencebeton.

De fem silicabetoner fordeler sig med:

2 betoner (C1 og C2) med varieret silicaindhold, normalplastificering og luftindblanding.

2 betoner (C3 og C4), udvalgt gennem forundersøgelserprogrammet for Ry å forsøget, og som er med superplastificering samt med og uden luftindblanding.

1 beton (C5) med stor styrke, superplastificering og uden luftindblanding.

Silicabetonerne havde følgende indhold af cement, silica og vand, samt følgende ækvivalente v/c-forhold:

NR		C1	C2	C3	C4	C5
Cement (C), PC(A/L/S)	kg/m ³	300	300	240	300	350
Silica (S)	%	10	17	20	10	20
Vand (V)	kg/m ³	128	129	119	128	124
v/(c + k x s)	-	0.33	0.29	0.31	0.33	0.25
Indblandet luft	-	ja	ja	ja	nej	nej
Plastificering	-	normal	normal	super	super	super

Forsøgsbro over Ry Å (1981)

Med baggrund i den viden, som er samlet i Vejdirektoratets tidligere rapporter om betons holdbarhed, og den seneste udvikling indenfor beton-teknologien, herunder specielt anvendelsen af silicapulver, besluttede Vejdirektoratet i 1980 at lade opføre en forsøgsbro. Ved projekteringen, valget af betonsammensætningen og udførelsen er der i særlig grad taget hensyn til betonens holdbarhed. Broen er udført uden isolering og belægning med henblik på at få erfaringer med brodæk udsat direkte for trafik og miljøpåvirkninger.

I forbindelse med valg af betonsammensætning gennemførtes bl.a. et større forundersøgelserprogram med 18 prøveblandinger, hvor cement-, silica- og luftindholdet var varieret. Undersøgelserne inkluderede, udover måling af traditionelle betonegenskaber, struktur og bestanddelsanalyser, frostforsøg, måling af varmeudvikling m.m. På basis af forundersøgelserne valgtes, ud fra holdbarhedskriterier, den betonsammensætning som broen blev støbt med.

Broens vægge og dæk blev støbt af en beton hvis indhold af cement, silica og vand var

		vægge	dæk
Cement (C), PC(A/L/S)	kg/m ³	300	300
Silica (S)	%	15	15
Vand (V)	kg/m ³	124	120
v/(c + k x S)	-	0.29	0.28

Betonen er luftindblandet og superplastificeret.

Forsøgsresultater

Indledningsvis skal konstateres, at det uden nævneværdige problemer har været muligt at udstøbe de omtalte konstruktioner med de anvendte silicabetoner.

I forbindelse med udførelsen er endvidere konstateret, at anvendelse af silicapulver i kombination med anvendelse af superplastificerende tilsætningsstoffer og reducere af cementindholdet har medført øgede afbindingstider. Dette synes ikke unaturligt, men rejser dog det principielle spørgsmål, om anvendelsen af silica kan medføre en sådan ændring i styrke og stivhedsudviklingen, at betonen til et givet tidspunkt under hærningen ikke kan optage spændingerne hidrørende fra hærdevarme, svind, krybning m.m. og derfor revner. En nærmere undersøgelse af denne problematik ville være meget nyttig.

Som forventet er der ved tilsætning af silica opnået betydelige styrketilvækster. Som et noget ekstremt eksempel kan nævnes, at der med 220 kg cement og 110 kg silica (betontype B3) er opnået en middel styrke på 104 MPA.

Anvendelse af luftindblanding i kombination med anvendelse af superplastificerende tilsætningsstoffer har givet problemer, som det dog i de allerfleste tilfælde har været muligt at løse. Målinger af luftporestrukturen på udborede kerner viser således, at denne i langt de fleste tilfælde er god eller acceptabel.

I forbindelse med alle forsøgene er udført struktur- og bestanddelsanalyser på tyndslib fra udborede kerner. Mikrorevneomfanget er i denne forbindelse blevet registreret i overensstemmelse med de kriterier der anvendes i Vejdirektoratets rapport nr. 2 om Betons Holdbarhed.

Der er generelt iagttaget et større mikrorevneomfang i silicabetonerne end i referencebetonerne, der er uden silica. Sammenlignes mikrorevneomfanget med nogle af de parametre som evt. kunne formodes at have indflydelse på omfanget så som blandingernes silicaindhold, v/c-forhold, tilsætningsstoffer (normal- kontra superplastificering) m.m., ses ingen klar sammenhæng, men dog en antydning af, at mikrorevneomfanget vokser med voksende silicaindhold.

Da fortolkningen af mikrorevneomfanget i relation til betonens holdbarhed endnu er ufuldstændig, er det formentlig ikke på nuværende tidspunkt muligt at fastslå betydningen af de konstaterede høje mikrorevneomfang.

Iagttagelser på tyndslibene har endvidere vist, at det for det meste har været muligt at dispergere silicaen tilfredsstillende. Klumper af silica er observeret i betoner med meget stort silicaindhold samt i en normalplastificeret beton med et silicaindhold på 17%, ca. 50 kg/m³. Sidstnævnte kan give et fingerpeg om, hvornår man for at opnå en tilfredsstillende dispergering af silicaen bør anvende superplastificerende tilsætningsstoffer i stedet for normalplastificerende tilsætningsstoffer.

Ved de gennemførte accelererede frost/tø/tøsaltprøvninger har det som et gennemgående træk vist sig, at silicabetoner med høj styrke og uden indblandet luft samt silicabetoner med normal styrke og med indblandet luft har haft en god frostbestandighed, medens silicabetoner med normal styrke og uden indblandet luft, samt referencebetonerne uden silica og med indblandet luft generelt har haft en noget dårligere frostbestandighed. Det bør dog bemærkes, at der fortsat hersker usikkerhed med hensyn til vurdering og sammenligning af reel frostbestandighed med den frostbestandighed som iagttages ved accelererede frost/tø/tøsaltprøvninger

I forbindelse med udførelsen observeredes endeligt, at visse typer silica kan give betonen en noget mørkere farve end alm. beton. Et forhold som kan have betydning, hvor der stilles specielle æstetiske krav til en betonkonstruktion.

Holdbarhedserfaringer

De udførte anlæg er blevet - og vil fortsat blive - besigtiget med jævne mellemrum, med henblik på registrering af eventuel nedbrydning. Anlæggene er imidlertid så unge, at det ikke på nuværende tidspunkt vil være forsvarligt at drage nogen endelig konklusion vedr. de enkelte betoners holdbarhed.

På Fiskebækbroens kantelementer fra 1981 konstateredes allerede efter én vinterexponering en del overfladeafskalninger. Da skaderne er rene overfladeskader, hvis omfang afhænger af elementernes alder ved eksponering for frost-tø-tøsaltpåvirkninger, kan den konstaterede nedbrydning dog ikke på nuværende tidspunkt give noget entydigt billede af elementernes holdbarhed. Iagttagelserne har dog bekræftet væsentligheden af, at det ved anvendelse af silicabeton, som for normal beton, er afgørende, at elementerne får en passende modenhed, inden de eksponeres for frost-tø-tøsaltpåvirkninger.

På de øvrige anlæg er til dato ikke konstateret nogen nedbrydning af betydning.

Som nævnt tidligere er det på grund af den manglende langtidserfaring med de undersøgte forsøgsanlæg ikke muligt at drage nogen endelige konklusioner vedr. holdbarheden af silicabeton. Undersøgelserne udført i forbindelse med anlæggenes opførelse samt de udenlandske, især norske, undersøgelser synes dog at pege imod, at det ved tilsætning af silicapulver er muligt at fremstille mere holdbare betoner.

Silicapulver er dog ikke et vidundermiddel, så for opnåelse af en mere holdbar beton er det ved anvendelse af silicabeton - som ved anvendelse af almindelig beton - nødvendigt, at proportionering, blanding, udstøbning og efterbehandling udføres med omhu. Herunder specielt at anvendelse af silicapulver, ofte suppleret med anvendelse af superplastificerende tilsætningsstoffer, kræver, at betonen behandles anderledes end en almindelig beton.

Cowiconsult har i den sidste tid gjort brug af silicabeton til reparation af nedbrudte pæle i en kajkonstruktion og til en ny række kantelementer til Fiskebækbroen.

Litteratur

Vejdirektoratet

Betons Holdbarhed, Rapport nr. 1:

Indledende undersøgelser af broer med revneskader
Juli 1978.

Vejdirektoratet

Betons Holdbarhed, Rapport nr. 2:

Undersøgelser af udvalgte betonbroer
Februar 1980

DSB, 6. anlægskontor, Århus

Frederikshavn station - Silicabeton.

Rapport nr. 1 vedr. iværksatte forsøg med silicatilsætning til beton
August 1980.

Vejdirektoratet

Forsøg med kantelementer af fiber- og silicabeton.

Rapport over forundersøgelser og udførelse
December 1980.

Vejdirektoratet

Forsøg med kantelementer af silicabeton, 1981

Rapport over forundersøgelser og udførelse
Juni 1982.

Vejdirektoratet

Betons holdbarhed, Rapport nr. ..

Forsøgsbro over Ry å
(forventes udgivet ultimo 1982).

Afdelingen for Bærende Konstruktioner
Danmarks tekniske Højskole

FIBETBETON

Arkitekt, m.a.a.
Finn Strabo

August 1982

FIBERBETON

Cementbundne materialer.

De cementbundne materialer lider alle under den samme svaghed: De meget ringe materialeegenskaber overfor træk. Dette gælder såvel almindelig beton som letbeton, forspændt beton, højstyrkebeton og diverse typer cementmørtel, både med og uden tilslag. Normalt tager vi måske ikke dette så alvorligt. Vi ved jo, at betonens trækstyrke er meget ringe i forhold til trykstyrken, og at den tilmed er upålidelig - stærk afhængig af hærde- og udtørningsforholdene, - og så ser vi blot bort fra trækstyrken i vore beregninger og indlægger en hovedarmering i de trækpåvirkede områder, - forspænder eventuelt konstruktionen og tror så, at den hellige grav er vel forvaret. Men så let går det nu ikke. Materialet som sådan er stadig sygt, og anvendelse af en hovedarmering - uanset om denne er slap eller forspændt - løser kun en del af problemerne.

Den egentlige årsag til de mange vanskeligheder vi har med de cementbundne materialer er ikke så meget den lave trækstyrke, men derimod materialets uhyre ringe brudforlængelse. Trækarbejds-kurven er praktisk taget retliniet. Et typisk, meget skørt materiale med en brudtøjning på kun ca. 0.1 - 0.2 o/oo! Når der-til kommer, at disse mikroporøse materialer alle i praksis får ret betydelige, indre tvangstøjninger under afbinding og hær-ning, tvangstøjninger, som ofte er betydeligt større end mate-rialets brudforlængelse, - så er det klart, at disse materialer i praksis, allerede på et meget tidligt tidspunkt undergår en vis nedbrydning, idet der opstår mikrorevner og fine netrevner især i overfladelagene.

Det er disse revner og indre spændinger, som er årsag til be-tonens upålidelige trækstyrke, og det er disse svage zoner, som danner farlige kerve, hvorfra den følgende nedbrydning ta-ger sit udgangspunkt .

Fibercement og fiberbeton.

I fiberbetonen har man ændret materialets karakter - først og

fremmest overfor træk og bøjning - fra et sprødt til et sejt materiale med en smuk, krummet trækarbejdskurve og en brudforlængelse, som typisk vil være 5-10 gange så stor som for det tilsvarende uarmerede materiale, - ofte betydelig mere.

Med en rimelig armeringsgrad - i egentlig beton f.eks. arbejdes der normalt med en volumenandel fibre på mellem 1 og 4% - vil man således, under forudsætning af at fibrene er virkelig vel-fordelt og vel forankret i matrixmaterialet, få et konstruktionsmateriale med stor styrke og sejhed - også overfor træk-påvirkning. Et materiale med ekstraordinær bestandighed, - først og fremmest velegnet til tyndvægskonstruktioner.

Typisk eksempel på et materiale, som absolut ikke ville kunne klare sig alene i uarmeret tilstand, er ren, afbundet Portland-cementmørtel uden tilslag. Et fuldstændig ubrugelig materiale, som på grund af temperaturgradienter og indre svindspændinger nedbryder sig selv totalt, kort tid efter afformning. Gennem-armerer man derimod materialet med 6-8 vol-% finfordelte fibre, som f.eks. asbest, så holder materialet i 30 til 50 år eller mere selv under de barskeste klimatiske forhold, - i hvert fald hvis der har været anvendt fibre af tilstrækkelig høj kvalitet (Eternit).

Fibertyper.

Ud over asbest - der jo som bekendt er på retur af forskellige årsager - arbejder man idag i fibercementindustrien med cellulose, glas- og plast-fibre, samt enkelte andre mere specielle mineralske fibertyper. Enkelte steder har man også forsøgt sig med kulfibre; men prisen på disse fibre er stadig så høj, at det næsten forbyder sig selv i praksis.

Til egentlig fiberbeton anvendes fibre af stål, alkaliresistent glas eller plast, - sidstnævnte typer primært af polypropylen.

REFERENCER:

- [1] Neville, A. (edit): "Fibre Reinforced Cement & Concrete" Vol. 1/2. RILEM Symposium, London 1975. The Construction Press Ltd, Lancaster, England.

- [2] "FIBERBETONG", Huvudrapport/Delrapport. NORDFORSK projektkomitee för FRC-material. Cement- och Betonginstitutet, Stockholm 1977.
- [3] Hannant, D.J: "Fibre Cements and Fibre Concretes". John Wiley Ltd, 1978.
- [4] Swamy, R.D. (edit): "Testing and Test Methods of Fibre Cement Composites". RILEM Symposium, Sheffield 1978. The Construction Press Ltd, Lancaster, England.
- [5] Krenchel, H: "Rupture Mechanics in FRC-Materials". Studies on Concrete Technology. Festskrift til prof. Sv.G. Bergström, December 1979 pp: 161-168. Cement- och Betonginstitutet, Stockholm.
- [6] Skarendahl, Å: "Fibre Concrete". Samme som ref. [5] pp. 169-193.
- [7] Lorentsen, M: "Combination of Steel Fibre Reinforcement with Normal and Prestressed Reinforcement". Samme som ref. [5] pp: 195-216.
- [8] "Fibrous Concrete". Symposium on Fibrous Concrete: Concrete International -80, London 1980. The Construction Press Ltd, Lancaster, England.

DANSK BETONFORENING
BKI, BETON- OG KONSTRUKTIONSSINSTITUTTET

TILSÆTNINGSSTOFFER TIL BETON

Orientering om TSS-gruppens arbejde samt om
ny dansk HÅNDBOG OM TILSÆTNINGSSTOFFER.

af
civilingeniør Ulla Kjør

AUGUST 1982

TILSÆTNINGSSTOFFER TIL BETON

Orientering om TSS-gruppens arbejde.

1. MEDLEMMER

Kirsten Eriksen, Teknologisk Institut (formand)
Bo Brasen, Akts. Sika-Beton
Attila Hegyközy, 4-K Beton A/S
Kjeld Roger Henriksen, Farøkonsortiet, Kampsax A/S
Ulla Kjær, Beton- og Konstruktionsinstituttet
Chr. Munch-Petersen, B. Højlund Rasmussen
Ervin Poulsen, DIAB
Ole Torgersen, Nordisk Bygge kemi A/S

2. HISTORIE

Tss-gruppen blev nedsat ultimo 1979. Siden da er afholdt ialt 20 møder.

3. AKTIVITETER

3.1 Datablade. Ved hjælp af spørgeskemaer udsendt til samtlige forhandlere af tilsætningsstoffer i Danmark er indhentet oplysninger om tilsætningsstoffer, der er samlede i datablade. Disse publiceredes første gang i DBF-publikation 12:1981 og anden gang i den netop udkomne "Håndbog om tilsætningsstoffer til beton". Heri er samlet data for over 140 produkter på det danske marked omfattende samtlige typer af tilsætningsstoffer.

3.2 SALT - Sammenslutningen af leverandører af tilsætningsstoffer i Danmark. På et stiftende møde 8. januar 1981 oprettedes ovennævnte forening, og der valgtes to repræsentanter, der deltagere i TSS-gruppens møder. Disse repræsentanter vælges for en

toårig periode. Der er ialt afholdt 3 møder i SALT.

3.3 Debatmøder. Der er afholdt 2 debatmøder, et den 28. november 1980 om "Luftindblanding" og et den 30. september 1981 om "Plastificering". Tredie debatmøde, der har fået titlen "Anonyme resultater med tilsætningsstoffer", er fastsat til 10. november 1982.

3.4 Publikationer. Der er udgivet 3 DBF-publikationer :

12:1981 "Datablade".

14:1981 "Luftindblanding. Referat af debatmøde".

15:1981 "Plastificering. Referat af debatmøde".

3.5 Samarbejde. Medlemmer af TSS-gruppen har deltaget i NORD-FORSK samarbejdet om tilsætningsstoffer og restmaterialer i beton. Dette samarbejde blev nærmere beskrevet på Dansk Betondag 1981.

3.6 Normer etc. TSS-gruppen modtager jævnligt danske og udenlandske normforslag, bestemmelser osv. til kommentar. Blandt disse kan nævnes :

- Forslag til ny dansk betonnorm, DS 411
- SBN godkendelsesregler for tilsætningsstoffer (Sverige)
- ISO definitioner og klassifikation af tilsætningsstoffer

TSS-gruppen har på sit sidste møde diskuteret hvilke krav om godkendelse, afprøvning etc., man kunne ønske sig indført i Danmark. Konklusionen heraf blev, at man ville anbefale DIF's normsekretariat, at der fremover indførtes et krav til forhandlere om deklARATION af stoffernes indhold af klorid samt alkalier, men at afprøvning iøvrigt efter gruppens mening fortsat med størst fordel foretages under den egentlige forprøvning i forbindelse med betonstøbearbejder.

TSS-gruppen har for nyligt efter invitation haft besøg af en repræsentant fra Arbejdstilsynet, der orienterede om de bestemmelser, der gælder for tilsætningsstoffer i Danmark. Denne orientering er bragt som appendiks i "Håndbog om tilsætningsstof-

fer til beton".

3.7 Projekter. Da deltagelse i TSS-gruppen er ulønnet og frivillig, er gruppens kapacitet begrænset. Større opgaver, som overskrider gruppens ressourcer, forsøges derfor løst i form af projekter på læreanstalter, teknologiske serviceinstitutter eller private firmaer.

Et således, netop afsluttet projekt har været udarbejdelse af en dansk "Håndbog om tilsætningsstoffer til beton". Håndbogen, der er finansieret af Teknologirådet, er udarbejdet af BKI, Beton- og Konstruktionsinstituttet.

I løbet af projektet er gennemlæst mere end 500 artikler og lærebøger om tilsætningsstoffer, ligesom ingeniørskolernes og branchernes ønsker til håndbogen har været diskuteret med repræsentanter for disse.

En foreløbig udgave af håndbogen blev udsendt til kritik i 1981 til over 70 særligt interesserede personer fra alle kredse, og den modtagne kritik er blevet indarbejdet i den endelige udgave.

Håndbogen, der netop er udkommet, koster Kr. 200,- + moms og kan købes via BKI, tlf.nr. 02-886622.

De 250 sider omfatter 7 kapitler, der hver behandler et aspekt af tilsætningsstoffer. Forrest er anbragt en "Vejledning i brug af håndbogen", der på 13 sider meget kort og letfatteligt gennemgår emnet. I dette afsnit er endvidere medtaget 4 eksempler på løsning af praktiske opgaver i forbindelse med betonstøbning. Endvidere indeholder håndbogen, som nævnt, datablade for mere end 140 tilsætningsstoffer på det danske marked. Resultaterne af andres forsøg og praktiske erfaringer er videregivet i form af over 100 tabeller og figurer.

4. FREMTID

TSS-gruppen modtager meget gerne forslag til eller ønsker om nye aktiviteter!

TYPE		PLASTIFICERENDE					
2 Produkt- navn	PLASTI- MENT	PLASTI- MENT	PRO - KRETE	PRO - KRETE	PROLAN	PROTEX PDA 25	PROTEX PDA 25
	BV 40	VZ	N	R		Dp	R
3 Forhandler	22	22	6	6	24	6	6
GENERELT							
4 Form	V	V	V	V	V	V	V
5 Aktive komponenter	LS	PH	LS+HC	LS+HC+PH	LS	LS	LS+PH
5a Kation			Ca	Na			Ca
6 Andre komponenter	V+S	V	V	V	V	V	V
7 Densitet kg/liter	1,2	1,2	1,2	1,25	1,23	1,2	1,2
8 Tørstofindhold %	40	33	45	50	45	41	41
9 Kloridindhold %	0	0	0	0		0	0
10 pH-værdi	4	6	8-10	6-8	4-5	5-7	5-7
11 Farve	B	B	B	B	B	B	B
12 Normale bivirkninger	R	R		P+R		LI+R	LI+R+P
13 Bivirkninger ved overdosis	R	R		P+R	R	R	R+P
LAGRING							
14 Holdbarhed, år	∞	∞	>2	>2	>1	>2	>2
15 Bundfald	±	±	±	±	±	±	±
16 Tåler frost	+	+	+	+	+	+	+
17 Tåler opvarmning	+	+	+	+	+	+	+
18 Max. temp. °C	50	50			50		
DOSERING							
19 Normal %	0,25	0,30	0,13	0,13	0,2-0,3	0,25	0,25
20 Minimum %	0,15	0,20	0,13	0,12	0,2	0,25	0,20
21 Maximum %	0,30	0,50	0,18	0,20	0,3	0,50	0,50
22 Afhængig af temp.	+	+	±	±	±	±	±
23 Fortyndes	±	±	±	±	±	±	±
24 Tilsættes med cement							
25 Med blandevand	+	+	+	+	+	+	+
26 Efter blandevand					+		
27 Efter færdigblanding							
28 Blandetid	1,0 min.	1,0 min.	0,5-1,0 min	0,5-1,0		0,5-1,0	0,5-1,0
29 Anbefalet doseringsudstyr	Sika RL	Sika RL	VOL.	VOL.		VOL.	VOL.
ANDRE TILSÆTNINGSSTOFFER							
30 Kan tilsættes samtidig	+	+	+/:		+		
31 Kan ikke blandes				+	+		
32 Kan blandes med	SP14+L16	Alle Sika				L16	L16
33 Kan ikke blandes med						L15	L15
Nummer	P 22	P 23	P 24	P 25	P 26	P 27	P 28

EKSEMPEL PÅ DATABLAD FOR PLASTIFICERENDE TILSÆTNINGSSTOFFER.

Aalborg Portland/CtO-
Cementfabrikkernes tekniske Oplysningskontor

BETONVEJE

Civilingeniør
Chr. F. Justesen

August 1982

BETONVEJE

Vejbelægninger af beton har en lang og glørværdig historie, idet de udførte vejstrækninger ofte har udvist meget lange levetider.

Den første betonvej blev bygget i England i 1865. I U.S.A. blev der fra 1900 til 1920 bygget ca. 50.000 km betonveje, og herfra blev de første erfaringer hentet til Danmark af professor Suenson i 1923.

Dette førte til et ret omfattende betonvejsbyggeri i 30'erne, ialt ca. 300 km. Til trods for belægningstykkelser, der slet ikke svarer til den belastning vejene senere er blevet udsat for, holder mange af vejene den dag i dag, snart 50 år gamle. Også selv om de normalt end ikke har fået den beskedne vedligeholdelse, som fuger bør have.

I slutningen af 60'erne blev der bygget ca. 40 km betonmotorveje i Danmark. Disse veje blev ikke udført efter de tidligere erfaringer, men i stedet anvendtes 60'ernes teknik med store slipformpavere, som krævede uhyre betonmængder i timen for at køre rigtigt. Samtidig startede den voldsomme saltning af vejene. Resultatet blev ikke tilfredsstillende.

Dette satte gang i en række undersøgelser med henblik på at klarlægge årsagerne og løse problemerne.

Ud fra resultaterne og de seneste landvindinger inden for betonteknologien anlagde man i 1976 en 4 km betonprøvestrækning på motorvejen mellem Ølby og Ringsted. Denne strækning har vist, at det stadig er muligt at fremstille en beton, der kan klare de påvirkninger, som vejbelægninger i dag udsættes for.

Økonomi

På grund af bitumenprisernes himmelflugt er betonbelæggingerne i dag et mere konkurrencedygtigt alternativ, selv om man kun ser på anlægsomkostningerne. Samtidig bør det nævnes, at cementpriserne også i fremtiden forventes at stige mindre end olie- og bitumenpriserne. Dertil kommer den mindre vedligeholdelse ved betonveje.

At betonveje er økonomiske har man allerede for flere år siden indset i en række andre europæiske lande. Som eksempler kan nævnes Tyskland, Østrig og Schweiz. I England, som traditionelt har bygget næsten udelukkende asfaltveje op til 1964, har betonvejsbyggeriet fået en stor andel i vejbyggeriet. I 1980 drejede det sig om 66%. Beton vælges her på grund af, at den er asfalten langt overlegen i holdbarhed, men også fordi anlægsomkostningerne er lavere.

Betonvejsbyggeriet har generelt fået et stort opsving i Europa. I Vesttyskland bygges på ialt 100 km motorvejsstrækning af beton. I Frankrig skal alle belæggninger over 80.000 m² udbydes alternativt i beton. I Belgien, hvor betonvejsbyggeriet traditionelt har en stor andel, skal alle veje uden for bebyggede områder fremtidig udføres i beton ifølge en ministeriel bekendtgørelse. I Spanien skal alle belæggninger over 70.000 m² udføres i beton, hvis en tilsvarende asfaltbelægning ikke er mindst 20% billigere.

Betonteknologi

Den voldsomme udvikling som har fundet sted inden for betonteknologien i 70'erne med anvendelse af flyveaske, silicastøv og superplastificeringsstoffer har gjort, at man i dag vil kunne garantere en holdbar beton til vejformål.

Man råder i dag i Danmark over prøvningsmetoder, som kan sikre, at den beton der udlægges, bliver både frostbestandig og bevarer tilstrækkelige friktionsegenskaber i betonvejens levetid.

Inden selve vejbyggeriet sættes i gang, justeres de foreslåede betonblandinger ind ved hjælp af de omtalte prøvningsmetoder. Under anlægsarbejdet foretages herefter en løbende kontrol, som sikrer, at resultatet bliver tilfredsstillende.

Nordisk Vejteknisk Forbunds danske gruppe 32 har iværksat et arbejde med udarbejdelse af retningslinier for udførelse af betonbelægninger. Retningslinierne indeholder afsnit om belægningstyper, kvalitetsbehov, materialer, konstruktiv udformning, udførelse, forprøvning og kontrol. Man stiler mod at sende dem til høring i løbet af efteråret.

Udlægning

Inden for de seneste år har der været en rivende udvikling for udlægningsudstyr til mindre betonveje.

En række fabrikker har på deres program udlæggere, hvor den samme maskine rationelt kan udlægge alt fra kantsten og autoværn til 3 - 4 m brede belægninger.

Disse udlæggere kræver i modsætning til de tidligere kæmpeslipformpavere relativt moderate betonmængder for at køre rationelt. Dermed arbejder de glimrende sammen med de lokale leverandører af færdigbeton. I Belgien har man flere års erfaringer med disse små slipformpavere og der kører over 30 stk.

Der arbejdes også med 2-lagsbetoner, hvor det øverste slidlag udføres i en ekstra tæt og frostfast fiberarmeret beton.

Reference

NVF, udvalg 32: "Skader på nyere betonvejsbelægninger i Danmark". NVF rapport nr. 38:1980.

"Veje af beton". Aalborg Portland brochure, 1982.

"Retningslinier for udførelse af betonveje". NVF udvalg 32, NVF udvalg 32, 1982. Under udarbejdelse.

"International Symposium on Concrete Roads, technical papers". Concrete Society og Cembureau, London, September 1982.

DANSK BETONFORENING

Byggeteknik, Teknologisk Institut

REPARATIONSTEKNOLOGI I

Fugtmekanik og tætte belægninger

af

Anders Nielsen

August 1982.

FUGTMEKANIK OG
TÆTTE BELÆGNINGER

Foredraget er delt i to dele: I første del behandles vandbinding. I anden del behandles de tætte belægningers fugtmæssige virkemåde.

Vandbinding

Beton er et hygroskopisk materiale, dvs., at det afgiver vand til den omgivende atmosfære, hvis damptrykket i betonens porer er større end damptrykket i atmosfæren. Omvendt kan beton optage vand fra den omgivende atmosfære, hvis damptrykket her er større end damptrykket i betonens porer. Sammenhængen mellem damptrykket, udtrykt som relativ luftfugtighed, og den optagne vandmængde kaldes for en sorptionsisoterm. Disse forhold gælder for alle porøse materialer. Sorptionskurven for træ er forholdsvis velkendt (fig. 1). Denne sorptionskurve er ret entydig, uafhængig af trækqualiteten, fordi det er alt ved-materialet, som medvirker i sorptionen. Ved-materialets densitet er uafhængig af trækqualiteten. For beton er forholdene ikke så enkle. Det skyldes, at vandbindingsevnen afhænger af vandcementtallet, og af cementmængden, og at fugtbrøken som vægtprocent afhænger af tilslagetets masse. Derfor får man, som vist på fig. 1 en kurveskare for beton. Optegning af desorptionskurver for beton (med ikke-alkali-reaktivt tilslag) er beskrevet i Beton-Bogen, side 171.

Beton er også kapillarsugende. Ved kapillarsugningen fyldes både fine og grove porer med vand. På sorptionskurven viser fyldningen af de grovere porer sig ved, at fugtbrøken vokser op ad den lodrette akse for 100% RF.

På figur 1 er fugtbrøken i vægt% anvendt som abscisse. Denne størrelse er ikke særlig anvendelig til at samle erfaringsmateriale ud fra, på grund af dens variationsområde. I stedet kan man udtrykke vandindholdet som vandmætningsgrad, dvs. den mængde af det totale porevolumen, som er fyldt med vand. (Vandmæt-

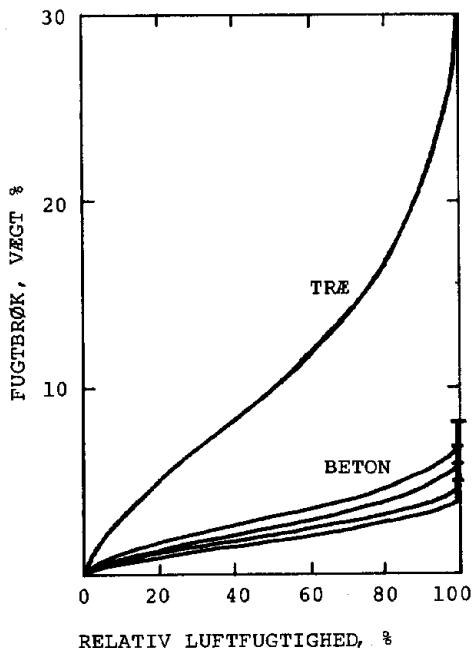


Fig. 1: Desorptionsisotemer for træ og for nogle forskellige betoner.

ningsgraden er bl.a. bestemmende for, om en beton er frostbestandig eller ej). På figur 2 er vist et eksempel på sammenhængen mellem fugtbrøk, vandmætningsgrad og relativ luftfugtighed.

Tætte belægninger

En tæt belægning kan påføres en udendørs betonkonstruktion for at forskønne den og for at forhindre indtrængning af vand og kuldioxid og dermed forlænge konstruktionens levetid.

Med en tæt belægning menes lag af cement- eller plastbaseret materiale med en damptæthed større end $Z_p = 10 \text{ Gm/s}$ (20 PAM).

I det følgende behandles tætte belægninger på altaner. Som ek-

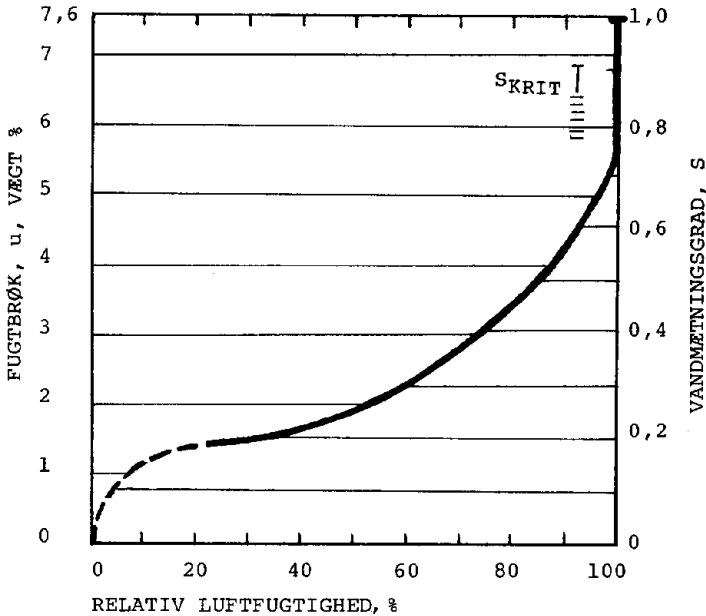


Fig. 2: Desorptionsisoterm for beton med $C = 300 \text{ kg/m}^3$, $v/c = 0,6$ $\rho_{\text{rør}} = 2170 \text{ kg/m}^3$. På akse til højre er vist vandmætningsgraden, beregnet under forudsætning af, at den åbne porøsitet er 16,5%. Hermed bliver den maksimale fugtbrøk $u_{\text{max}} = (0,165 \cdot 1000) / 2170 = 7,6\%$, og vandmætningsgraderne beregnes som $S = u/u_{\text{max}}$.

sempel anvendes konstruktionen på Vejlegårdsparken, hvor der i det forløbne år er blevet udført nogle forsøgsbelægninger og foretaget fugtmålinger (1).

Et elementært krav til en belægning er, at den skal sidde fast på betonen. Afskalning kan skyldes brud i kontaktfladen eller brud i betonen. Kontaktfladebrud kan i de fleste tilfælde henføres til dårlig afrensning før påføringen. Brud i betonen lige under belægningen kan skyldes temperaturspændinger eller fugtansamling, som kan forårsage frostskafer og alkalikiselreaktioner.

Temperaturspændinger i belægningerne fremkommer, fordi belægningsmaterialets varmeudvidelseskoefficient og elasticitetsmodul oftest vil være forskellige fra det underliggende betonmateriales værdier. Ved temperaturvekslinger vil dette lede til trækspændinger i betonen. Disse spændinger overskrider i de fleste tilfælde ikke trækbrudspændingen for betonen. Forholdene kan dog blive kritiske for meget stive og tykke lag. I tilfælde med dårlig afrensning vil vedhæftningen dog i alle tilfælde blive så dårlig, at temperaturpåvirkningerne kan få belægningen til at slå fra.

Fugt under belægningen kan komme enten "oppefra" eller "nedefra". Vand "oppefra" er det vand, som suges kapillært ind gennem huller og revner i belægningen, gennem ubeskyttede kanter eller gennem tilslutning til fuger og mure. Chancerne for at undgå denne vandindtrængning øges med den grad af omhu, som nedlægges i projekteringen og i udførelsen.

Vand "nedefra" er det vand, som trænger frem til belægningen gennem betonen. Det kan være vanskeligt at overse størrelsesordenen af denne transport. Det er mit indtryk, at det er denne vanskelighed, som afholder mange fra at anvende tætte belægninger på beton. Man frygter, at hele belægningen vil fryse af efter nogle år på grund af vandansamling "nedefra".

Vand kan transporteres gennem betonen ved diffusion eller ved kapillarsugning.

Diffusion ved temperaturligevægt vil indstille sig således, at betonen vil komme i ligevægt med den omgivende atmosfære. Vandmætningsgraden ved denne ligevægt er under den kritiske vandmætningsgrad for frysning, jf. fig. 2.

Dampdiffusion med samtidige temperaturvekslinger vil måske under uheldige omstændigheder kunne drive vand op under belægningen. Hvis det skulle ske, at der kommer frit vand lige under belægningen, vil der imidlertid umiddelbart ske en kapillær tilbagesugning, som vil indstille vandmætningsgraden jævnt.

Det vil derfor være store vandmængder, der skal transporteres frem. Dette vand skal komme fra den angivende luft, enten som vanddamp, som dug eller som slagregn. Dug og slagregn kan også suges kapillært ind i betonen.

Hele transportfænomenet er meget kompliceret at beregne teoretisk. Grove overslag peger dog på, at det ikke er muligt nedefra at vandmætte en sund beton til en frysekritisk vandmætningsgrad. Dels tilføres der ikke vand nok, dels når betonen at tørre ud i de perioder, hvor der ikke er vand på undersiden.

På grund af problemets kompleksitet, er der blevet udført målinger på nogle altaner i Vejlegårdsparken (1). Altanerne er 120-140 mm tykke. Et antal firmaer har udført belægninger på oversiden af altanerne. Fugtforholdene er blevet målt. Hovedmålingen var elektrisk modstandsmåling. Den ohmske modstand i beton stiger med synkende vandindhold. På grund af vanskelighederne med kalibreringen er metoden endnu kun egnet til at vurdere fugtudviklingen i en og samme beton. Her viser den imidlertid for samtlige belægninger, at vandindholdet, målt 20 mm under belægningen synker i måleperioden fra august 1981 til juni 1982.

Den relative luftfugtighed i betonens porer er målt med "Vaisala" kapacitive fugtfølere. Der blev målt i fire uger i februar 1982, og i februar til april 1982. Der blev målt midt i pladen. Resultatet var, at den relative luftfugtighed omregnet til konstant temperatur ligger konstant eller svagt faldende i felterne med belægning, og svagt stigende i referencefeltet uden belægning.

Problemet med tætte belægninger kræver mere udredning. Målinger foregår stadig på Teknologisk Institut, Byggeteknik. Vi håber om et års tid at være i stand til at præsentere en mere omfattende belysning af problemet. På det tidspunkt håber vi at kunne sige noget om, hvor dårlig og porøs beton man kan tillade sig at reparere med en tæt belægning.

Konklusion

Vandtætte belægninger synes at kunne udføres på oversiden af altaner i en del tilfælde med godt resultat uden at den kritiske vandmætningsgrad for frysning opstår. Den i denne artikel foretagne udredning forudsætter imidlertid

at man har at gøre med rimeligt sund, urevnet beton,

at belægningen hæfter forsvarligt til betonen,

at stivhed og varmeudvidelseskoefficient ikke er for store, og

at belægningen er fri for huller og revner og slutter forsvarligt til omgivende mure.

Litteratur

- (1) Vejlegårdsparken, fugtmåleprojekt,
NDH, TBJ, br, 251.4997.
Byggeteknik, Teknologisk Institut, Tåstrup.

DANSK BETONFORENING
Teknologisk Institut
Byggeteknik

REPARATIONSTEKNOLOGI
Reparationssystemer

af
Niels Ole Damsager Hansen

August 1982

REPARATIONSSYSTEMER

Reparation af betonkonstruktioner

Reparation af betonkonstruktioner kræver som regel arbejdsindsats og mængder i så begrænset et omfang, at det let "glemmes", at der også her er tale om betonteknologi.

Det må derfor slås fast, at skal der opnås en reparation, der giver den reparerede konstruktion en acceptabel fortsat holdbarhed, så drejer det sig om følgende:

- at bibringe konstruktionen egenskaber, så den i lang tid fremover kan holde til de belastninger, den påføres, og det miljø, den befinder sig i
- at udføre et effektivt forarbejde ved behugning og rensning af reparationsområdet
- at fremstille og påføre reparationsmaterialerne efter betonteknologiske regler
- at efterbehandle og beskytte ved egnede metoder
- at kontrollere, om det udførte arbejde lever op til de stillede specifikationer.

Ved reparation af jernbetonkonstruktioner er forarbejdet det altafgørende, rigtig valg af mørtel et plus, og efterbehandlingen en garanti for lang holdbarhed.

Udformning af udsatte betonkonstruktioner

Det er vigtigt ved udformning af en udsat betonkonstruktion, at vand hurtigt afledes, og at der ingen steder i og på konstruktionen tilbageholdes og ophobes vand. Vandet skal let og uhindret føres til afløb, og alle for vand tilgængelige flader skal være ventilerede.

Der skal derfor ved såvel nykonstruktion som ved renovering træffes følgende konstruktive foranstaltninger:

- "Vandrette" gangflader skal være glatte, men skridsikre og have ca. 25 ‰ fald mod afløb eller kanter, og kanternes underside skal være forsynet med en vandnase.
- Udragende bjælkeender, bjælkekanter, vægoversider, søjletoppe etc. skal være glatte og skrå eller forsynet med en ventileret inddækning.
- Samlinger mellem betonelementer skal enten være helt forseglede ved korrekt udførte og vedligeholdte elastiske fuger eller åbne og ventilerede. Sidstnævnte kan gøres ved at minimere den direkte kontakt elementerne imellem ved opklodsning på neoprenbrikker ca. 10 mm tykke.
- Af hensyn til årstidsbestemte temperaturbevægelser i uden-dørs betonkonstruktioner, skal konstruktionerne være fleksible nok til at optage bevægelserne i indlagte dilatationsfuger og glidelejer.

Udhugning af reparationssteder

Forud for afgørelsen af udhugningsomfang og dybder bør der udføres en forundersøgelse, der hovedsagelig koncentrerer sig om at belyse følgende forhold:

- Aktuelle armeringsdæklag ved måling med dækmåler, suppleret med enkelte ophugninger.
- Bestemmelse af karbonatiseringsdybde ved påføring af phenolphthalein i 1% opløsning på fx ø 25 mm borekerner.
- Grove revnesystemers udbredelse såvel inde i betonen parallelt med overfladen som vinkelret på overfladen.

- Omfang af korrosionsangreb.
- Saltbelastning af betonen.

Med grundlag i disse undersøgelser kan der besluttes at benytte én eller kombinationer af følgende løsninger:

- Pletvis udhugning af synligt skadede steder.
- Udhugning ved målte dæklag fx mindre end 10 mm.
- Overfladebehugning af hele konstruktionsdelen.
- Udskiftning af konstruktionsdelen.

Udhugninger skal altid afsluttes med kanter stort set vinkelrette på betonoverfladen og ca. 15 mm dybde evt. opnået ved skæring. Der skal opnås et hårdt og klingende betonunderlag. Armeringsjern med rustangreb skal blottes til rent stål. Dette indebærer ikke nødvendigvis frilægning bag om armeringen.

Armering i udsatte, fugtbelastede betonkonstruktioner må ikke ligge i karbonatiseret beton. Den udførte renovering bør derfor sikre, at dette ikke bliver tilfældet et rimeligt antal år frem i tiden.

Rensning af beton og stål

Udvalget af rens værktøj og -metoder er stort, og det kan være vanskeligt at vælge den mest egnede metode, når der skal tages hensyn til såvel teknik og produktivitet som til miljø og økonomi. Med et nødvendigt krav til holdbare behandlinger, hvori rensningen indgår som en altafgørende faktor, er udvikling og tilpasning af metoder på dette område en nødvendig arbejdsopgave i den kommende tid.

En lige så nødvendig opgave er formulering af udfaldskrav til

behandlingerne og kontrolmetoder til eftervisning af, at disse er opnået.

En rensningsopgave vil typisk bestå i følgende operationer:

- Bearbejdning (mekanisk behugning, sandblæsning, højtryks-spuling etc.).
- Rengøring (afkostning, renblæsning, støvsugning etc.).
- Forvandling af underlaget. Udendørs betonkonstruktioner har normalt et relativt fugtindhold (RF%) på 80-90%, der vil derfor ofte kun være tale om en overfladebefugtning.

Det skal til slut i dette afsnit påpeges, at ved brug af plastemulsioner i svummeblandinger og mørtler er disse meget følsomme overfor tilstedeværelsen af betonstøv.

Reparationsbeton/reparationsmørtelsystemer

Situationen her i begyndelsen af 1980'erne, hvor omfanget af nybyggeri næsten har nået nulpunktet, er resulteret i et massivt udbud af reparationsprodukter, der forsøger at møde det voksende behov, der er opstået ved reparation af beton.

Disse produkttyper kan groft opdeles i følgende grupper:

Betoner fra betonværker udviklet til reparationsopgaver som udbringes i små portioner.

Beton i tør form leveret i poser med tilsætningsstoffer, som luftindblanding, SPT etc. I disse betoner er tilstræbt et lavt vand/cementtal på omkring 0,4 og betonens bearbejdighed fra stiv plastisk til meget flydende kan reguleres ved beskeden vandtilsætning, således at betonens kvalitet ikke forringes.

Reparationsprodukter der kan opfylde begrænsede delopgaver inden for en betonrenoverings opgave. Disse kan være klæbe-forbedrende stoffer, rustbeskyttelsesmalinger, spartelmasser, reparationsmørtler, overfladebehandlingsprodukter etc. For disse produkter må forhandlerens accept af produktets egnethed til den aktuelle opgave og hans instruktion i produktets brug indhentes.

Reparationssystemer. Ved et reparationssystem forstås et sæt af materialer fra samme producent. Disse systemer er sammensat af de produkter, der er nødvendige for reparationer af begrænset udbredelse og dybde samt overfladebehandling og bygningernes fortsatte vedligeholdelse.

De reparationssystemer, der i dag er på markedet, består i princippet af følgende materialer:

1. Rustbeskyttelsesmaling til armeringsjern.
2. Svummeblandinger til etablering af vedheftning imellem gammel beton og reparationsmørtelen.
3. Reparationsmørtler og spartelmasser afpasset til dybde og størrelse af reparationsområderne.
4. Tyndpudsningmørtler til opretning af reparerede flader.
5. Overfladebehandlingsmalinger, hvis primære opgaver er beskyttelse mod fugtindtrængning og hindring af en fortsat karbonatisering af betonen.

Der er i øjeblikket på Teknologisk Institut ved at blive udarbejdet en markedsoversigt over hele dette udbud inden for betonreparationsområdet. Denne oversigt forventes at udkomme sidst i 1982.

Efterbehandling af reparationssteder

For betoner og cementbaserede reparationsmørtler er det vigtigt, at de beskyttes mod udtørring. Dette gælder især hvor der arbejdes med lave vand/cementtal.

Det anbefales at arbejde med afdækningstider ikke under en uge, men det skal påpeges, at det er de første timer efter udstøbningen, der er de mest kritiske.

Følgende måder angiver mulige metoder til beskyttelse af betonfladerne mod udtørring:

- Tildækning med plastfolie evt. med et underlag af fugtet fibertext.
- Påføring af forseglingsmembran evt. som beskyttelse forud for udlægning af plastfolie. Hvor betonen skal danne underlag for membraner eller maling bør der afstås fra brug af forseglingsmembraner.
- Påføring af overfladebehandlinger, der kan optræde som forseglingsmembraner.
- Vanding ved regelmæssig tilførsel af tempereret vand.

Afsluttende bemærkninger

Byggeteknik, Teknologisk Institut, har i sin rapport "UDSATTE BETONKONSTRUKTIONERS HOLDBARHED", december 1981, blandt andet skrevet følgende.

"De fleste betonbøger indledes med en konstatering af, at beton fremstilles af sand, sten, cement og vand. Dette lyder meget enkelt, men er det i praksis ikke altid. Beton er tværtimod et kompliceret materiale, hvis kvalitetsegenskaber som styrke og holdbarhed afhænger af en lang række faktorer.

Måske er det netop, fordi beton har været betragtet som et ukompliceret materiale, uforgængeligt og vedligeholdelsesfrit bare trykstyrken var i orden, at der er opstået problemer. Først fordi man opstiller forkerte forventninger, som skuffes, dernæst fordi man har overskredet nogle grænser ved udformning af konstruktionerne, blandet og bearbejdet betonen forkert og forsømt vedligeholdelsen.

Det er vor mening, at betonen er et stærkt og holdbart materiale, såfremt nogle få, enkle, men grundlæggende forudsætninger er opfyldt".

Formålet med dette indlæg er at advare mod "misforståelser" nu i reparationsfasen og at påpege nogle af de grundlæggende forudsætninger.

Der henvises i øvrigt til de kursusudbud, der bl.a. annonceres igennem Dansk Betonforening, og den litteratur, der efterhånden bliver udgivet omkring beton og reparation af denne.

DANSK BETONFORENING

Esben Kirkegaard

Rådgivende ingeniører ApS

BETONRECEPTER - ALTANREPARATIONER I BPS-REGIE

af

Civilingeniør Peter Thorup

AUGUST 1982

BETONRECEPTER - ALTANREPARATIONER I BPS-REGIE

Indledning

Reparation af betonkonstruktioner især inden for boligsektoren har i de sidste år udviklet sig til et arbejdsområde af betydeligt omfang for såvel rådgivere som entreprenører.

Boligområdets betrængte økonomi er medvirkende til at skærpe kravet om korrekte og økonomisk optimale løsninger.

Det store udbud af reparationssystemer og kunstprodukter og endnu uafklarede problemer omkring betons holdbarhed og fugt i beton er med til yderligere at komplicere problemerne.

BPS

I BPS regie har man siden altanulykken i 1979 i en tværfaglig arbejdsgruppe arbejdet med udarbejdelse af anvisninger for reovering af altaner. I denne sammenhæng er bl.a. problemerne omkring reparationsbeton til udvendige betonkonstruktioner og injektionsmørtel blevet dyrket i erkendelse af, at der var et behov for klare anvisninger til betonkvalitet og -sammensætning samt arbejdsudførelse.

Blandt de spørgsmål, som blev genstand for særlig opmærksomhed var bl.a. krav om svumning, krav til v/c-tal, luftindhold og fillerindhold i tilslag. Endvidere blev problematikken omkring tilsætning af tætnende pozzulaner, f.eks. silica og flyveaske drøftet.

Krav til betonarbejder

Forarbejder

Al løs og skadet beton borthugges, så der opnås en ru overflade, og således at mindste reparationstykkelser bliver 30 mm.

Al korroderet stål frihugges og afrenses omhyggeligt ved sandblæsning til Sa 2½ eller eventuelt stålborstning til St 3.

Reparationsstedet renses omhyggeligt med sandblæsning og efterfølgende støvsugning el.lign.

Eksisterende beton forvandes, så den på støbetidspunktet er vandmættet, men overfladetør.

Svumning af støbeflader, både stål og beton, vil normalt være en fordel, såfremt svumningen kan udføres effektivt og korrekt. Svummørtel skal bestå af 1 del sand og 1 del cement samt vand. Ved en korrekt svumning forstås, at svummørtelen, med en konsistens som tyk fløde, indkastes omhyggeligt i overfladerne med en stiv børste eller kost, og at reparationsudstøbing udføres umiddelbart efter svumningen, således at støbningen foregår vådt i vådt. Kan disse krav ikke med sikkerhed opfyldes f.eks. på grund af reparationsstedets udformning, bør svumningen udelades.

Materialer

Til netarmering af reparationssteder anbefales brug af prefab-armeringsnet R3 pr. 50 mm. i begge retninger. Af hensyn til tildannelse af armeringen bør dimensionen af de enkelte stænger ikke overstige 3 mm.

Der kan anvendes almindelig Portland-cement (ikke hurtighærdende). Hvis ønskeligt kan også anvendes lav alkali-cement eller flyveaskecement.

Stentilslaget skal være frostsikkert, dvs. fri for porøse dele, som f.eks. porøs flint eller porøs kalk. Der kan f.eks. anvendes knust granit eller andre sten med en korn-densitet større end 2400 kg/m^3 . Stentilslaget må max. indeholde 5% korn med densitet mindre end 2400 kg/m^3 og max. 1% med densitet mindre end 2300 kg/m^3 .

Der skal tilstræbes størst mulig stenstørrelse af hensyn til svind. Stenstørrelsen skal dog altid være mindre end $1/3$ af reparationstykkelsen.

Sandets kornkurve bør normalt have et jævnt forløb, og det må højst indeholde 5% materiale mindre end 0,125 mm.

Der bør anvendes superplastificeringsmidler af hensyn til opnåelse af den rette konsistens (evt. kan også anvendes andre tætnende pozzulaner f.eks. flyveaske).

Af hensyn til frostsikkerhed skal beton luftindblandes, som angivet nedenfor.

Betonsammensætning

Følgende krav til betonen skal normalt opfyldes:

1. Effektivt v/c-forhold max. 0,40.

Effektivt v/c-tal vil sige total vandindhold minus det

i tilslaget absorberede vand divideret med cementindholdet.

2. Konsistens svarende til sætmål 6-8 cm.
3. Cement + filler min. 385 kg/m^3 .
4. Cement min. 300 kg/m^3 .
max. $\begin{cases} 450 \text{ kg/m}^3 & \text{ved } D_{\text{max}} = 8 \text{ mm} \\ 400 \text{ kg/m}^3 & \text{ved } D_{\text{max}} = 16 \text{ mm} \\ 375 \text{ kg/m}^3 & \text{ved } D_{\text{max}} = 32 \text{ mm} \end{cases}$
5. Luftindhold 4-7%, afhængig af største stenstørrelse (se tabel). Luftindholdet må variere med $\pm 1\%$.
6. Frostsikre grusmaterialer.
7. Velgraderet sand med lavt vandbehov og max. 5% mindre end 0,125 mm.
8. Superplastificering.
9. Evt. tilsætning af flyveaske.
10. Betonen skal kontrolleres i henhold til kontrolklasse I efter DS 411, 1973.

Når betonen kan blive udsat for tørsalte bør følgende ekstra forholdsregler iagttages:

Sandet må ikke indeholde alkalireaktive korn.

Luftindholdet bør forøges med 1% i forhold til normal praksis. Dette tillæg er indarbejdet i de anførte eksempler.

Andre blandinger

Det kan anvendes andre blandinger og materialer, såfremt det kan dokumenteres, at de tilsigtede egenskaber (tæthed, svind og holdbarhed) kan opnås.

Såfremt der tilsættes flyveaske, må der maksimalt tilsættes 50% af cementvægten. Op til denne grænse kan flyveasken indregnes i v/c-tallet på lige fod med cementen.

Kontrol

I forbindelse med valg af blanderecept og løbende i forbindelse med arbejdet udførelse skal der føres kontrol med følgende:

- vandindhold i tilslag i henhold til DS 405.11
- luftindhold i henhold til DS 423.11
- sætmål i henhold til DS 423.13

Efterarbejder

Den udstøbte beton skal beskyttes effektivt mod udtørring og vejrlig i mindst 1 uge efter støbningen, ligesom støbeform heller ikke må fjernes før dette tidspunkt.

Beskyttelsen kan f.eks. udføres med plastfolie, evt. fugtet fibertext med plastfolie udenpå eller ved brug af curing-compound. Såfremt der er risiko for frost, skal reparationen beskyttes med isolering.

Eksempler, vejledende blandingsforhold

1. Tørre grusmaterialer (sand og sten)

		D 8 mm		D 16 mm		D 32 mm	
		max 1000 l	50 l	max 1000 l	50 l	max 1000 l	50 l
Cement	kg	425	21,3	375	18,8	350	17,5
Sand	kg	960	48,0	710	35,5	610	30,5
Sten: Perler	kg	695	34,8	350	17,5	205	10,3
Ærter	kg			710	35,5	410	20,5
Nødder	kg					615	30,8
Vand, effekt.	kg	170	8,5	150	7,5	140	7,0
Vægt, ialt	kg	2250	112,6	2295	114,8	2330	116,6
Luftindhold	%	7 [±] 1		6 [±] 1		5 [±] 1	

2. Fugtige grusmaterialer. Total fugt i sand 4% og i sten 1%

		D _{max} 8 mm		D _{max} 16 mm		D _{max} 32 mm	
		1000 l	50 l	1000 l	50 l	1000 l	50 l
Cement	kg	425	21,3	375	18,8	350	17,5
Sand	kg	998	49,9	738	36,9	634	31,7
Sten: Perler	kg	702	35,1	354	17,7	207	10,4
Ærter	kg			717	35,9	414	20,7
Nødder	kg					621	31,1
Vand tilsætn.	kg	125	6,3	111	5,5	104	5,2
Vægt, ialt	kg	2250	112,6	2295	114,8	2330	116,6
Luftindhold	%	7 [±] 1		6 [±] 1		5 [±] 1	

Arbejdet har medført, at der i dag markedsføres fabriksbetoner og tørbetoner, der opfylder disse kreav. Der er her ved opnået en betydelig lettelse i arbejdet på byggepladserne.

Erfaringer fra praksis

I de efterhånden mange tilfælde, hvor disse betoner er blevet anvendt, har de vist sig at være velegnede til opgaven og ført til, hvad der på nuværende tidspunkt må vurderes som vellykkede resultater. Imidlertid var der i selve arbejdet på byggepladsen, især i den første tid, enkelte problemer omkring arbejdet med betonen.

Blandt andet tilsatte man for store mængder vand med det formål at undgå maskinblanding, undlod at vibrere betonen og havde problemer med at udføre glat afretning. Endelig gav den relativt hurtige afhærdning også kvaler.

I forbindelse med reparation af altangange har man udført forsøg med glasfiberarmeret silica beton med et lovende resultat, om end der også her viste sig at være en del praktiske problemer i forbindelse med arbejdet på byggepladsen.

Krav til injektionsmørtel

Til injektionsmørtel formulerede arbejdsgruppen følgende krav:

1. En stabil blanding med minimal separation og minimal vandudskillelse (bleeding), dvs. max. 2%.
2. Mørtlen skal være letflydende, så alle hulrum kan udfyldes og evt. armering/jernprofiler helt kan omstøbes. Konsistensen skal afpasses efter det valgte pumpemateriel. Cementpasta og cementmørtel bør have en konsistens svarende til tyk fløde. Beton bør have en konsistens svarende til sætmål 10-20 cm.
3. En svindfri blanding med lavest mulig sætnings- og hærningssvind, evt. med en mindre ekspansion i uhardnet tilstand. Max. volumenformindskelse 2% og max. volumenforøgelse 5%.
4. Et effektivt v/c-forhold på max. 0,40.
5. Tilslagets største kornstørrelse (D_{max}) skal være størst mulig, dog ikke større end 1/3 af mindste revne/hulrum tværmål. Tilslaget skal være frostsikkert og velgradueret.

Ovennævnte krav kan normalt opfyldes ved tilsætning af "in-trusion aid" og/eller aluminiumspulver. Yderligere kan tilsættes pozzulaner som flyveaske samt evt. superplastificeringsmiddel (SPT).

Færdigblandet tørmørtler/-betoner kan anvendes, såfremt det dokumenteres, at de opfylder de nævnte krav.

Eksempler - vejledende blanderecepter

		Ren ce- mentmørtel	D _{max} 4 mm	D _{max} 8 mm	D _{max} 16 mm
	Cement	kg 50	50	50	50
	Vand, total max.	kg 20	20	20	20
	Sand (tørt)	kg	150	110	100
	Sten 4-8 mm	kg		85	50
	Sten 8-16 mm	kg			100
	Flyveaske 1) kg	●	●	●	●
x)	Intrusion aid 2) kg	●	●	●	●
	Aluminiumspulver 3) kg		●	●	●
x)	SPT 4) kg		●	●	●

x) Må bestemmes ved forsøg/prøveblanding

- 1) Normalt 25% af cementvægten
- 2) Normalt 1% af cementvægten
- 3) Normalt 0,05-0,2 o/oo af cementvægten
- 4) Normalt 1-3% af cementvægten

Slutbemærkning

Det tværfaglige element, som det bl.a. kom til udtryk i BPS-arbejdet, spiller utvivlsomt en stor rolle for formidlingen af den betonteknologiske viden og udvikling, og der efterlyses en indsats af tilsvarende karakter til belysning af problemerne i forbindelse med reparation og vedligeholdelse af jernbetonkonstruktioner.

Litteraturfortegnelse:

- (1) BPS: "Renoveringsdetaljer altaner",
Hørsholm 1982
- (2) CTO: "Beton Bogen",
Ålborg 1979

FARØBROERNE

Betonproportioneringsproblemer i relation til alkali-
kiselaktivitet, bleeding og støbelighed.

Undervandsstøbning.

Hærdeteknologi.

EDB-overvågning.

v/civilingeniør Mogens Remmer og
civilingeniør K. Roger Henriksen
Farøkonsortiet

Foredragenes emner er allerede delvis blevet behandlet af samme forfattere i nummer 2-4 1982 af tidsskriftet "Nordisk Betong), et særnummer udsendt i anledning af F.I.P.-kongressen i Stockholm, juni 1982.

I foredragene vil blive givet et resumé af den pågældende artikel samt en uddybning af visse af emnerne.

Hvad angår resuméet og de kontante oplysninger som dette vil indeholde henvises til artiklen, idet det pågældende nummer skulle være let tilgængeligt for alle. Artiklen, der har titlen "Advanced concreting under water at large bridge site in Denmark", findes på siderne 20-27.

Som en undtagelse gengives dog her artiklens recept på undervandsbeton, som den bliver anvendt på Farøbroerne, idet vi har anstrengt os for at undgå artiklens skæmmende trykfejl.

Concrete Design

The composition of the concrete mix is as follows (pr. m³):

Cement	330 kg
Fly ash	100 kg
Water (total)	150 kg
Sea sand 0/1 mm	580 kg
Crushed granite 2/8 mm	355 kg
Sea gravel 8/32 mm	750 kg

Admixtures:

SIKA BV 40 plasticizer (lignosulphonate)	4,0 o/oo
SIKA FRO-BE air-entraining (vinsol resin)	0.3 o/oo
SIKA RET retarder (phosphate)	1.3 o/oo
SKW MELMENT 10 superplasticiser (melamine- formaldehyde-condensate)	1.5 o/o

The indicated dosages are given in
proportion to the weight of cement.

Dagens foredrag:

K. Roger Henriksen:

Oversigt over væsentlige aspekter ved løsningen af de
betonteknologiske problemer ved opførelsen af Farøbroerne.

Følgende delemmen vil blive behandlet:

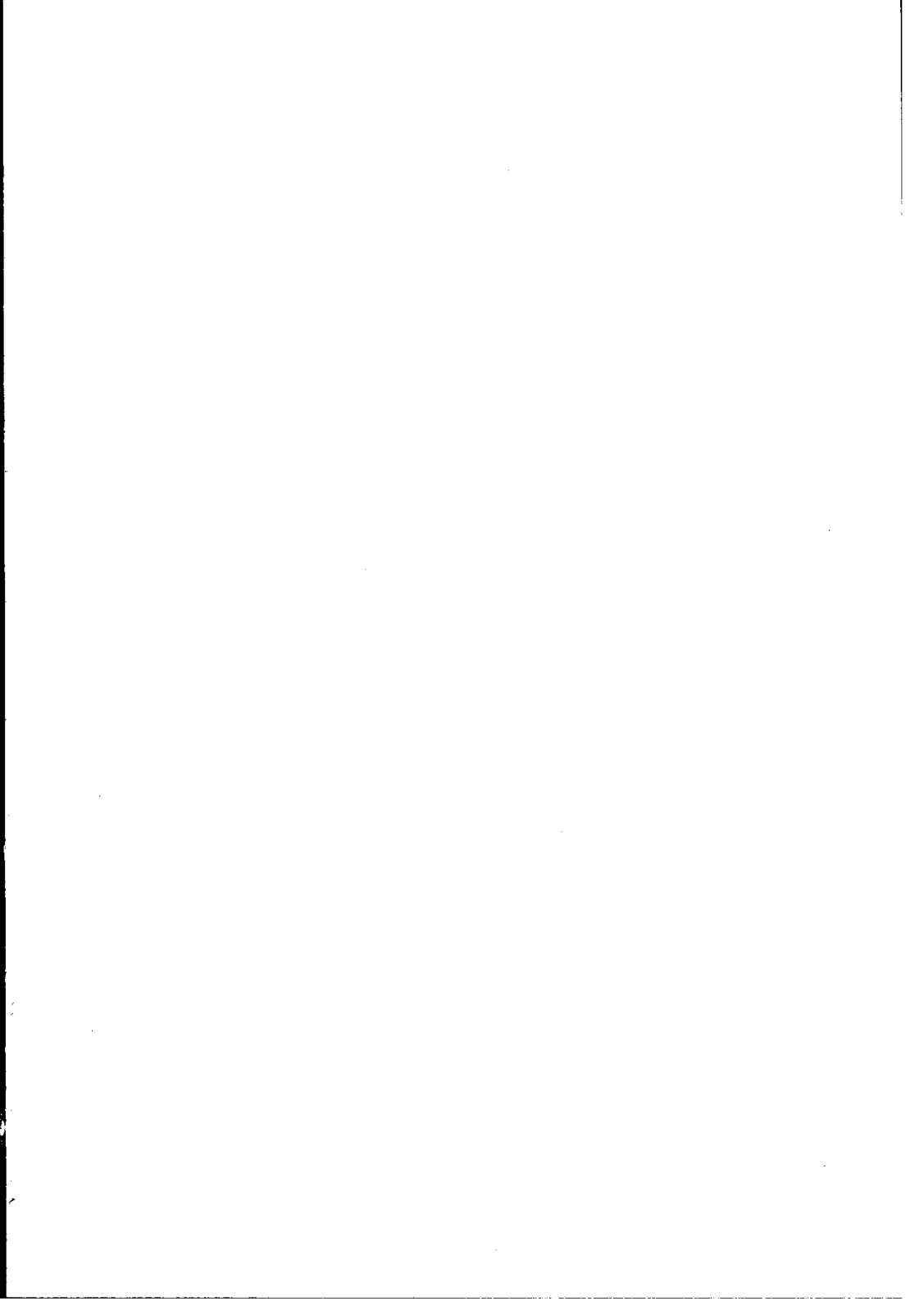
- 1) Kravspecifikation
- 2) Bestemmelse af sandets flintindhold og
alkalireaktivitet
- 3) Kontrol af sandets flintindhold
- 4) Betonproportionering
 - normalbeton med flyveasketilsætning
 - undervandsbeton med superplastificering
- 5) Hærdeteknologi
 - manual
 - massive konstruktioner, herunder en omtale af
specielle emner som "gnalling"-støbninger og ned-
køling af frisk beton med flydende kvælstof
- 6) EDB-overvågning af betonproduktion og hærdning

Mogens Remmer:

Oversigt over udførelsen af betonstøbning under vand ved Farøbroernes pælefunderede piller.

Nærmere uddybning af diverse aspekter vedrørende:

- 1) Undervandsstøbning i almindelighed,
krav til udstyr til udførelse og kontrol.
- 2) Særlige omstændigheder ved Farø arbejdet.
- 3) Kravkomplex vedrørende Farø arbejdet.
- 4) Udformningen af støbmaskiner m.v.
- 5) Totalorganisationen ved Farø arbejdet.
- 6) Eventuelt.



ISSN 0106-0406
ISBN 87-87823-28-4

teknisk forlag a-s . København