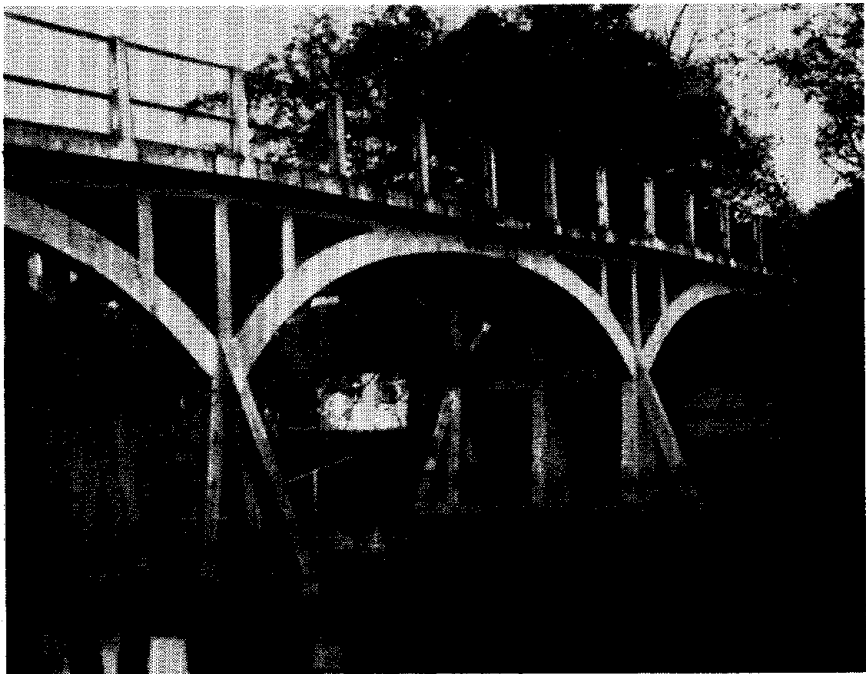


Dansk  
Betonforening

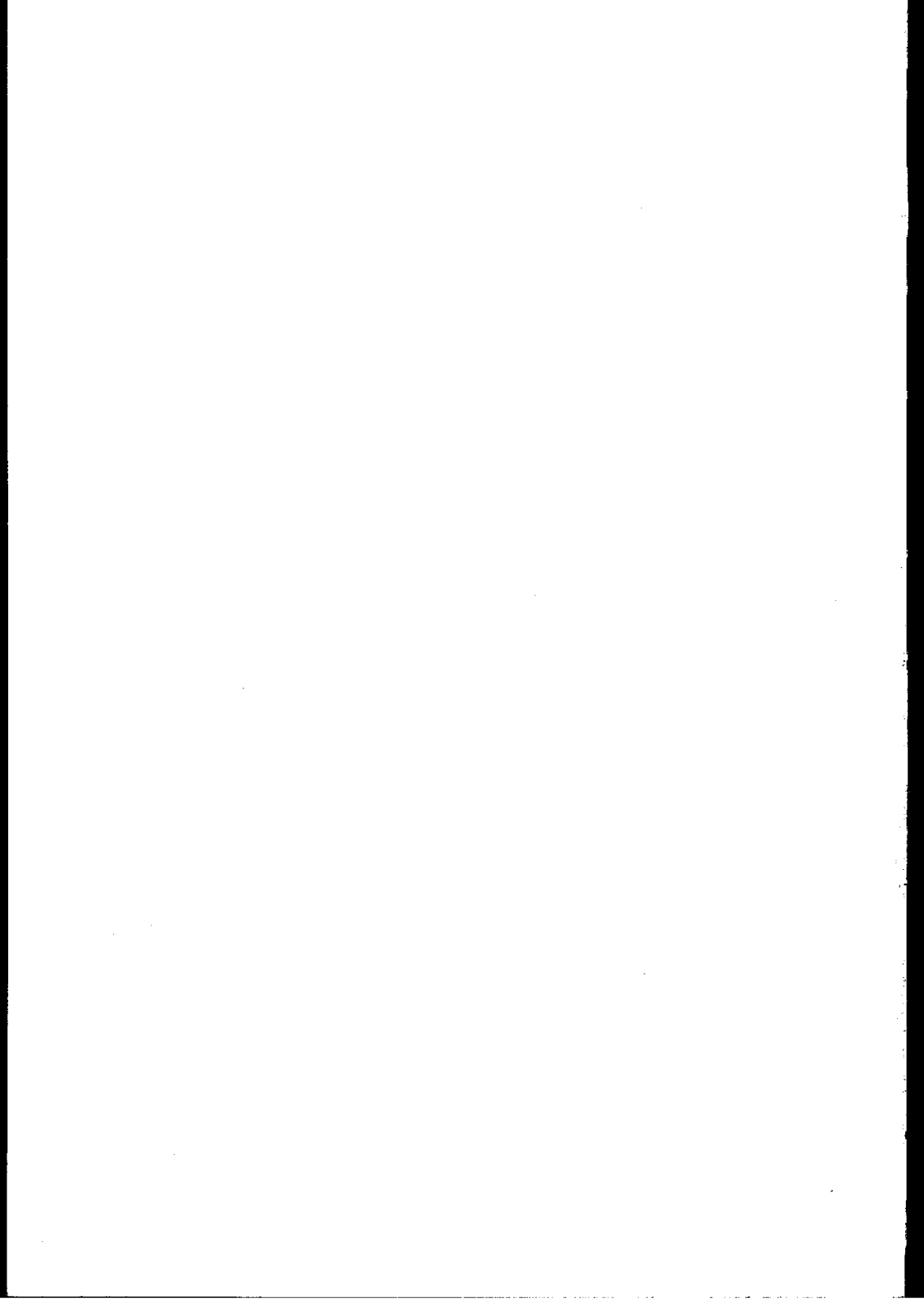
**db**  
**f**



# Dansk Betondag 1987

40 års jubilæum

Publikation nr. **31**



Dansk  
Betonforening



# Dansk Betondag 1987

40 års jubilæum

Publikation nr. **31**

Publikation nr. 31:87

Denne publikation indeholder  
de fleste indlæg fra  
Dansk Betondag 1987.  
Ved samme arrangement  
fejredes DBF's 40 års jubilæum.

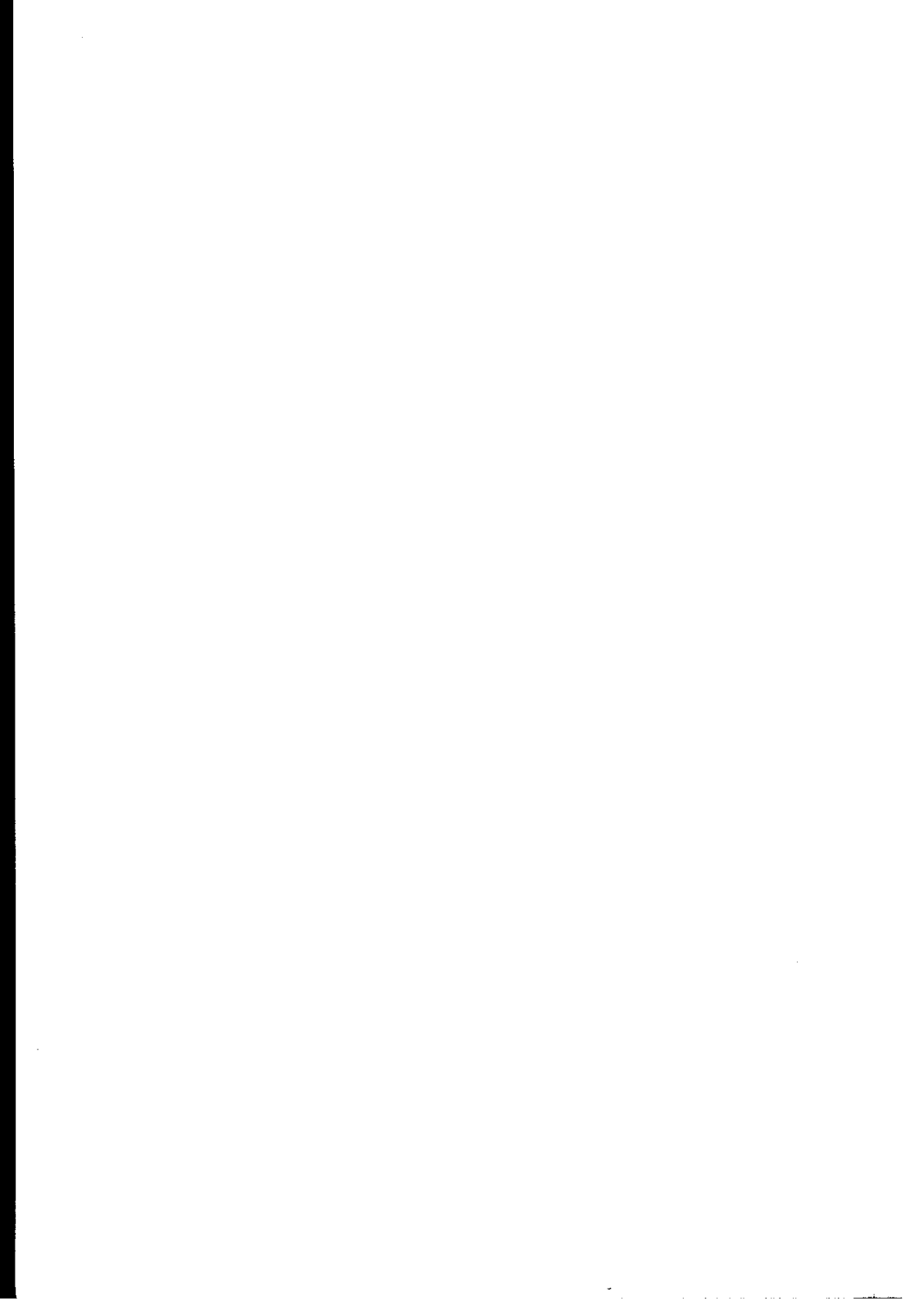
Forsidebillede:

"Amtmand Hoppes bro"  
44 m lang over Gudenåen ved Langå.  
Buebro helt i jernbeton, tegnet og  
udført i 1905 af ingeniørfirmaet  
Christiani & Nielsen for Viborg og  
Randers Amtsråd og beboerne i de  
tilgrænsende kommuner.  
(Uddrag af teksten på broens mindeplade.)

Publikationen er udgivet af:

Dansk Betonforening  
c/o Dansk Ingeniørforening  
Vester Farimagsgade 29  
1606 København V  
Tlf.: 01 15 65 65

<u>INDHOLD:</u>	<u>Side</u>
Kirsten-Elizabeth Høgsbro: <u>Broer gennem 1000 år</u> .....	5
Klaus Ostenfeld: <u>Gibraltarbeoen</u> .....	15
Preben Christensen: <u>Beton før og efter 1947</u> .....	33
Hans Henrik Bache: <u>Højstyrkebeton</u> .....	43
Johs. F. Munch-Petersen: <u>Hvad lærte vi?</u> .....	73
Jens Erik Staalby: <u>Udviklingstendenser</u> .....	85



Nationalmuseet  
Rigsantikvarens Arkæologiske Sekretariat  
Frederiksholms kanal 12  
1220 København K

B R O E R   G E N N E M   1 0 0 0   å r

af Kirsten-Elizabeth Høgsbro  
museumsinspektør, mag.art.

september 1987

<u>Index:</u>	<u>Side</u>
Broer letter vejen - også hinsides .....	8
Brøstfældige træbroer .....	9
Landsplanlægning .....	10
Nye materialer .....	12



### Broer gennem 1000 år

Når man beskæftiger sig med dansk brobygnings historie kan det synes nedslående at skulle konstatere, at det først er broerne opført i vort århundrede, som har en sådan karakter, at de virkelig slår syn af sig.

Men der har været bygget broer i Danmark i 1000 år.

Man må imidlertid gøre sig klart, at behovet for broer ikke har været særligt stort i ældre tider. Færdslen har stedse, som f.eks. hærvejsstrøget viser det den dag i dag, skyet de større vandløb. Det er og var få steder, hvor det ikke inden for en rimelig afstand har været muligt at passere en å eller et fugtigt område ved et vadested.

Det var først, da vogne blev almindelige transportmidler, i hvert fald for de herskende klasser, at der opstod et reelt behov for at kunne komme frem ad jævne veje, eller vejspor, og det blev nødvendigt at opføre vejdæmninger og broer af en vis soliditet, når sumpede strækninger eller større vandløb skulle passeres.

En gennemgang af dansk brobygnings historie viser, at det næsten er en regel uden undtagelse, at opførelsen af en bro så godt som aldrig er sket ud fra et intenst ønske hos de nærmestboende. Det er fjerntrafikken, som har været styrende for brobyggeriet.

### "og vandt sig alt Danmark"

Det er næppe tilfældigt, at det ældste danske broanlæg, hvis eksistens vi kender til, er vikingetidsbroen i Ravnng Enge, i ådalen vest for Vejle.

Indtil 1972 havde pælerækkerne fra denne imponerende ca. 700 meter lange brokonstruktion gemt sig i engarealer, hvorfra man nu og da trak store kvadratisk tilhuggede stolper op, stolper som tilsyneladende stod i et regelmæssigt mønster.

Først da en af disse stolper i begyndelsen af 1970'erne blev dendrokronologisk dateret til 979/980 og en arkæologisk undersøgelse foretaget, blev det klart, at man her endnu engang var konfronteret med et af vikingetidens gigantiske ingeniørarbejder, oven i købet et anlæg som var samtidigt med Trelleborg på Sjælland, og lige som den og de øvrige vikingetidsborg-anlæg totalt ukendt fra skriftlige kilder. Det er naturligt at se Ravning Engebroen i sammenhæng med disse borganlæg, borge hvorom forskerne nu stort set er enige, at de er opført som tvangsborge under Harald Blåtand (940-985), den Harald som på den store Jellinge-runesten, Danmarks dåbsattest, som den er blevet kaldt, så stolt proklamerede, at han "vandt sig alt Danmark og Norge".

Etableringen af kongemagten i Danmark har i begyndelsen været nøje knyttet til tilstedeværelsen af en militær organisation, hvad der også indebar, at der blev anlagt borge på strategisk vigtige steder (eller i urolige områder), og at der fandtes et velfungerende vejnet, og til dette hørte der broer.

#### Broer letter vejen - også hinsides

I den sene vikingetid og i middelalderen var det en hellig handling at gøre vej og bygge bro. For dem, der opførte broer, blev vejen efter døden banet. De fik aflad for deres synder.

Følles for så godt som alle de broanlæg, vi har kendskab til fra middelalderen og op til nyere tid er, at der er tale om trækonstruktioner. Det er undtagelser, som bekræfter reglen, når man træffer på stenbyggede broer.

Men de fandtes, omend kun sparsomme levn er tilovers i dag. I Himmerland var der endnu ind i 1600-tallet hvælvede granitstensbroer med op til tre gennemløb. Fra én af dem er bevaret markante rester, nemlig fra Løvel bro, nord for Viborg. På stedet, hvor Simested å for århundreder siden havde sit leje, ses i engen i dag et fragment af en bropille og enkelte tilhugne granitstenskvadre. Her blev også fundet en stikbue-

sten med en latinsk inskription. Tolkningen af indskriften er ikke uden problemer, men så meget synes dog sikkert, at den konge, som nævnes på stenen, må være Erik Plovpenning, og at broen er opført i hans tid, muligvis på hans befaling, dvs. i midten af 1200-tallet.

Den udsøgte tilhugning af kvaderstenene fra disse fem broanlæg, er den samme som vi nikker genkendende til i de mange kirker, som blev opført i middelalderen. Det er en nærliggende tanke, at det kan være de samme personer eller personkredse, som stod bag det storstilede kirkebyggeri i 1200-tallet, som også tog initiativ til, ja måske befalede, som der står på indskriften på Løvel bro, at disse broer skulle opføres af sten. Det kan da enten være den centrale rigsmyndighed, kongemagten, eller repræsentanter for de regionale gejstlige institutioner (bispen i Viborg?) eller det verdslige aristokrati, som havde behov for hurtig kommunikation inden for landsdelen.

Man kunne have ventet, at det nye byggemateriale, teglsten, som blev introduceret i Danmark i Valdemarstiden (1157-1241) også var blevet benyttet til opførelsen af broer. Men det synes kun at være i forbindelse med borge og bybefæstninger, at der i enkelte tilfælde kan konstateres, at der har været broer bygget af mursten, som f.eks. ved Hammershus på Bornholm eller Københavns middelalderlige byporte.

#### Brøstfældige træbroer

Når man tager det storladne byggeri af slotte og herregårde i betragtning, som fandt sted fra midten af 1500-tallet og ind i 1600-tallet, ville det være rimeligt, om der også havde været behov for at opføre vejbroer af sten. Men selv ikke på de solide og "private" kongeveje, som blev anlagt i Frederik den 2.s og Christian den 4.s tid, var der tale om at opføre broer af sten.

Det hører til sjældenhederne, når man ser, at Christian den 4. giver befaling til, at nogle mindre broer i Nordsjælland i 1616 skal bygges af murede sten, eller at der i Køge skal opføres en hvælvet bro. Og overalt er brotypen den samme, som den har været i vikingetiden og middelalderen. Vel kendte man til at bygge smukke imponerende hvælvede broer af sten som f.eks. på Frederiksborg slot, men på landevejene lod man sig nøje med mindre kostbare broer af træ, uanset det krævede hyppige istandsættelser. Det går som en rød tråd gennem alle breve og forordninger, der vedrører vejforhold i disse århundreder, at der er et evigt bøvvl med at vedligeholde disse sårbare trækonstruktioner. De er konstant brøstfældige, og uafsladeligt er det gentagne gange nødvendigt for de centrale og lokale myndigheder at indskærpe, at nu skal farlige broer bringes i orden. Det gennemgående træk er også, at bønderne, hvis pligt det var ikke alene at bygge, men også at vedligeholde og reparere træbroerne, havde ringe lyst til at løse denne opgave. Motivationen manglede simpelthen. Opførelsen af en bro blev kun sjældent eller aldrig betragtet som et tiltag, som var vedkommende for de folk, som boede i nærheden. Bestandig møder man eksempler på, at bønderne i et sogn trykker sig i sædet og argumenterer for, at en bro er hele herredets eller flere herreders anliggende, hvad der i de fleste tilfælde også var rigtigt.

### Landsplanlægning

Det kan trods alt forundre en senere tid, at der selv ikke efter enevældens indførelse i 1660 fra centralmagts side for alvor blev taget fat på at få etableret et velfungerende vejnet, ej heller udført initiativ til at udskifte de højst upålidelige træbroer med mere solide konstruktioner af sten. De få eksempler, vi kender fra 1700-tallet på broer af sten, er karakteristisk nok opført i forbindelse med slotte og herregårde, og er mere prestigebetonede projekter end egentlig bygget af hensyn til at lette trafikproblemer. Smukkest af

dem alle er Marmorbroen i København. Men Hvælvingsbroen ved Herlufsholm over Suså'en og de to granitstensbuebroer under Ledreborg allé ved Lejre i nærheden af Roskilde er nu heller ikke at kimse af. De var dog i bro-sammenhæng enlige svaler, der ikke varslede sommer!

Det var først efter midten af 1700-tallet, at den tanke for alvor slog igennem inden for danske regeringskredse, at det var en uomgængelig nødvendighed, at landet blev forsynet med et effektivt vejvæsen, som kunne forestå ledelsen af anlægget af landeveje ikke alene mellem de forskellige provinser, men også mellem de enkelte købstæder. Det stod også klart, at det var nødvendigt at hente udenlandsk ekspertise for at klare denne opgave.

Orden og fasthed i vejbyggeriet kom der, da den franske højtuddannede vejingeniør Jean Marmillod i 1764 ankom til Danmark. I de følgende 12 år fik han lagt det solide fundament, hvorpå dansk vejvæsen stadig beror. Trods evindelige administrative omstruktureringer, hvor civile og militære myndigheder kæmpede om, hvem der skulle lede vejvæsenet, så lykkedes det ham og hans medarbejdere, i begyndelsen franske ingeniører senere den stab af danske vejingeniører, han fik uddannet, at få vejbyggeriet til at fungere. Uanset hofintriger og paladsrevolutioner, så arbejdede vejkorpsset sig langsomt, sejt og sikkert gennem landet.

Efter at nogle tilløb til lovgivning var strandet, fik man endelig med vejforordningen af 1793 skabt det lovmæssige planlægningsgrundlag, som var nødvendigt for realiseringen af det ambitiøse projekt med at forsyne hele Danmark med veje, bygget efter moderne franske principper.

Der var også kommet nye toner frem i målsætningen: vejene skulle også være til bekvemmelighed for de rejsende, og naturligtvis til gavn for landbefolkningen.

Forordningen af 1793 indeholdt også et kapitel om, hvordan de nye vejbroer skulle bygges. Nu skulle i hvert fald alle broer under hovedlandeveje og de vigtigste amtsveje opføres af kampesten. Træbroer kunne kun accepteres, hvor det uanset

rådgivning fra vejmyndighederne i København ikke var muligt lokalt at skaffe den fornødne arbejdsmæssige ekspertise til at opføre kampestensbroer. - Problemet med at skaffe kvalificeret arbejdskraft skulle vise sig nærmest at være permanent. Allerede i starten måtte vejkorpsset entrere med faste murermestre i København, som udsendte specialhold, der drog fra det ene sted til det andet for at opføre de teknisk krævende nye hvælvede granitstensbroer. Kun de mere beskedne broer kunne overlades til lokale bygmestre, dog med et vist tilsyn fra vejvæsenet i København.

Marmillod havde udfærdiget tegningerne til de første smukke hvælvede broer under kongevejen fra København til Hørsholm og Fredensborg. Disse broer var opført som tro kopier efter franske mønstertegninger, og det var også disse, som blev forbilledet for de følgende generationer af vejingeniører ved brobyggeriet gennem Sjælland, over Fyn og op gennem Jylland, indtil man endelig omkring 1860 var nået til vejs ende efter den plan, som var lagt i slutningen af 1700-tallet for landets vejvæsen. Nu var selv de fjerneste provinser, ja endog nord for Limfjorden, forsynet med moderne veje og solide brokonstruktioner, opført i overensstemmelse med den ånd, som havde præget Marmillods arbejde og gennemsyrede vejforordningen af 1793.

Det var smukke og varige konstruktioner, der viste sig at kunne holde til trafikbelastninger, som selv de mest fantasirige vejingeniører ikke kunne have drømt om i 1793. For første gang havde danske brobyggere været forud for deres tid. De havde bygget broer med fremtiden som dimension.

### Nye materialer

I løbet af 1800-tallet blev et nyt materiale taget i brug til brobygning ude i Europa, nemlig jern. I 1844 indviedes den første støbejernsbro i Odense, og i de sidste årtier af 1800-tallet, hvor en ny anlægsmyndighed, nemlig jernebanevæsenet, kom til, opførtes der i hundredvis af broer af jern, først smedejern, senere svejsejern.

Og de store brokonstruktioner, som opførtes i forbindelse med anlæggelse af jernbanerne, markerede sig for alvor i det danske landskab. De gjorde krav på at blive set, og blev set. Nogle blev endda forsynet med monumentale portaler, som f.eks. jernbanebroen over Masnedsund, hvor et overdådigt gotisk tårnagtigt forsvarsarrangement af mursten med krenelerede facader tog imod de rejsende.

For knap 100 år siden i 1894 opførtes den første bro af jernbeton, nemlig Langelinjebroen for fodgængere i København efter et projekt af Asger Ostenfeld. Og hermed indledtes den epoke i dansk brobygnings historie, som i løbet af nogle årtier bragte dansk brobygningskunst og -kunnen og danske broingeniører frem i første række, ikke blot indenfor landets grænser, men også uden for.

Jernbeton var tilsyneladende det vidundermateriale, alle vej- og brobyggere havde ventet på i århundreder. Det forblev "uforandret i luft, ild og vand", og dermed kunne selv de dristigste fantasier, som nogen broingeniør kunne gøre sig, blive realiseret.

Inden for den sidste menneskealder, eller to, er der i Danmark opført den ene storbro efter den anden. Vi har forlængst vænnet os til, at det ikke længere er nødvendigt at sejle på de sunde og bæltter, som forbinder de danske øer. Det er blevet et naturligt led af hverdagen, at broer hægter landsdelene sammen. Det er blevet hævdet, og sikkert med grund, at de første storbroer blev igangsat som beskæftigelsesarbejder. Det skulle imidlertid hurtigt vise sig, at de kritiske røster, som i begyndelsen lød om, at der ikke var et reelt trafikalt behov for disse ambitiøse bygværker over de danske farvande, blev gjort til skamme.

Hvem kunne i 1930'erne forestille sig, at hverken Lillebæltsbroen eller Storstrømsbroen ikke skulle kunne klare det øgede trafikale pres, og at det efter en generations forløb skulle være nødvendigt begge steder at opføre endnu større og endnu smukkere broer, hvis luftige konstruktioner næsten kommer de vejfarende svævende imøde?





Cowiconsult  
Rådgivende Ingeniører AS  
Teknikerbyen 45  
2830 Virum

GIBALTARBROEN

K.H. Ostenfeld  
Teknisk direktør  
Cowiconsult

OKTOBER 1987

<u>INDHOLD</u>	<u>SIDE</u>
Indledning	17
Fysiske forhold	20
Tekniske muligheder	23
Tekniske løsninger	25
Skibsstødsundersøgelser	31
Flydebrøløsning	32
Konklusion	32

## GIBALTARBRØEN

### Indledning

En fast forbindelse over Gibraltarstrædet mellem Spanien og Marokko er en århundredår gammel drøm. I den henseende adskiller den sig ikke fra Storebælt eller andre store vanskeligt realiserbare faste forbindelser mellem landsdele, lande eller kontinenter.

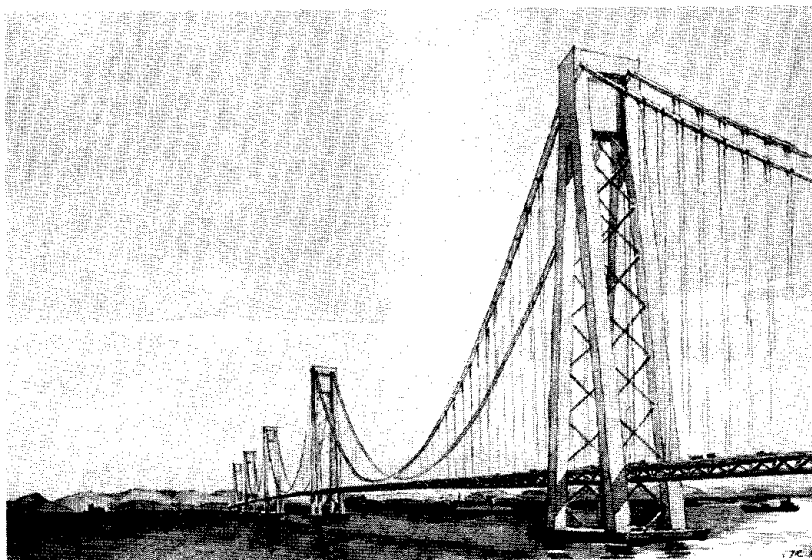


Fig. 1 Hængebroforslag. Cowiconsult 1982

Mange ideer er blevet fostret og forkastet, alle mere eller mindre fantasifulde, og med ringe udsigt til konkretisering og realisering.

Den iberiske halvø (Spanien) har for ca. 5 millioner år siden været landfast med Afrika. Middelhavet var dengang en saltsø med meget lavere vandstand end Atlanterhavet. Ifølge en af de mest sandsynlige teorier bevirkede en voldsom naturbegivenhed med jordskælv, at Atlanterhavet brød gennem den naturlige dæmning, hvorved denne blev revet bort og de voldsomme kræfter fra det indstrømmende vand bevirkede omvæltninger af jord- og klippemasser således, at geologien nu nærmest må betegnes som kaotisk. Geologien er præget af sprækker mellem de to kontinentalsokler og store makroblokke af bjergarter ligger væltet rundt mellem hinanden i et kaotisk mønster, med sedimentationslag i skrå, lodrette planer og af og til i omvendt geologisk rækkefølge.

Flere forslag til fast forbindelse er blevet fremsat af forskellige projektforfattere siden århundredskiftet. I de fleste tilfælde har der været tale om tunnelforslag. Borede tunnelløsninger har været foreslået af Carlos Ibàñez de Ibero (1908), Mariano Rubio Bellvé (1918) og Pedro Jevenois (1927). Sænkettunnelløsninger blev foreslået af Carlos de Mendoza (1919) og Fernando Gallego Herrera (1928).

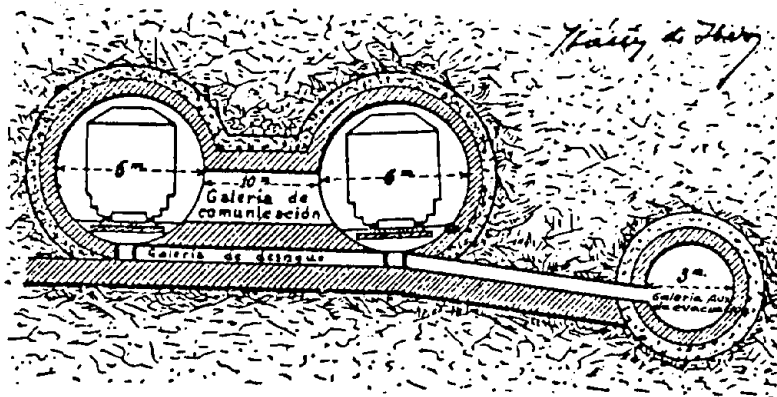


Fig. 2 Tunnelforslag af Ibanez de Ibero, 1908.  
Broforslag af Pena Boeuf, 1956

Først i 1956 blev et broprojekt med lange hængebrofag foreslået af Alfonso Pena Boeuf fra det spanske ministerium for offentlige arbejder.

I 1972 etableredes en særlig kommission med det formål, at udarbejde et program for studier af teknisk, økonomisk og finansiell gennemførlighed af en fast forbindelse for person- og godstransport, og i 1979 traf Marokko's Kong Hassan II følgende aftale med Juan Carlos I af Spanien i en fælles deklARATION i Fès 10. juni 1979:

"Idet de 2 parter er klar over den fundamentale vigtighed af de fremtidige relationer mellem de 2 lande og mellem Europa og Afrika har parterne besluttet i fællesskab at undersøge gennemførligheden af en permanent forbindelse over Gibraltarstrædet. I den forbindelse har de to parter besluttet at udveksle teknisk-videnskabelige informationer, der skal muliggøre dannelsen af et fælles selskab for de videre undersøgelser".

Ved en supplerende aftale i oktober 1980 etableredes de egentlige rammer for arbejdet gennem dannelsen af Société Nationale d'Etudes du Détroit (SNED) og Sociedad Espanola de Estudios para la Conexion Fija a través del Estrecho de Gibraltar (SECEG) i henholdsvis Marokko og Spanien.

Disse statslige organisationer forestår de tekniske og økonomiske undersøgelser samt de juridiske aspekter der knytter sig til en fast forbindelse over internationalt farvand mellem 2 kontinenter med forskellige juridisk praksis.

Udover at opfylde et lokalt transportbehov mellem de 2 lande - et behov der i sig selv næppe foreløbig kan retfærdiggøre en så stor investering - er det tanken, at forbindelsen skal stimulere en kraftig industriel udvikling i Marokko, især i Tangerområdet, der i samhandelsmæssig henseende er afskåret fra omverdenen mod nord af Gibraltarstrædet og mod syd af Atlasbjergene og Sahara. Et tilsvarende behov kan konstateres i den sydspanske provins Andalusien.

En fast forbindelse vil trække tyngdepunktet for kommunikation og handel og dermed industriel og økonomisk aktivitet mellem Europa og Afrika mod vest og således betinge en kraftig udvikling af Sydvesteuropa og Nordvestafrika. Disse overordnede perspektiver har bevirket at projektet har påkaldt sig UNESCO's (under FN) interesse.

Siden etableringen har SNED og SECEG forestået talrige forundersøgelser og udviklingsprojekter. En betydelig del af disse projekter er udført af COWIconsult i samarbejde med to spanske og marokkanske rådgivere: Carlos Fernandez Casado -Madrid og CID i Rabat.

Endvidere har vi for FN foretaget en overordnet vurdering af et broprojekts tekniske gennemførlighed på basis af hidtidige studier og kendt teknologi.

#### Fysiske forhold

Gibraltar strædet er på sit smalleste sted ca. 15 km bredt, hvilket i sig selv jo ikke udelukker en fast forbindelse. På dette sted er vanddybden over en ca. 10 km strækning dog større end 450 m og lokalt op til 1000 m. Disse store vanddybder byder på næsten uoverstigelige tekniske problemer og kræver meget store fagvidder af en broforbindelse. En boret tunnel eller sænketunnel er udelukket på dette sted.

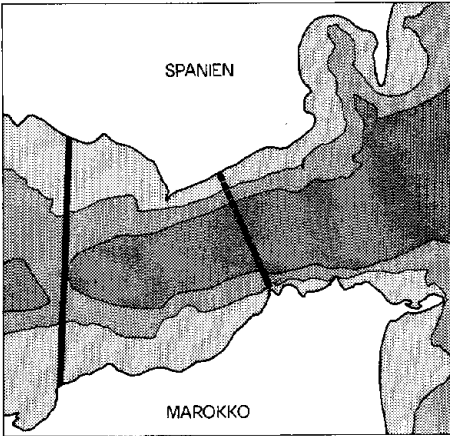


Fig. 3 Linieføring

Længere mod vest er strædet bredere (28 km), men bathymetriske undersøgelser har vist, at man mellem Punta Paloma og Punta Malabata i en svagt S-formet kurve kan finde en tærskel, hvor vanddybden ikke overstiger 350 m. Ved passende optimering af spændvidder og bropilleplaceringer er det muligt at undgå dybder over 250 à 300 m.

Vanddybden udgør den største hindring for realiseringen af projektet.

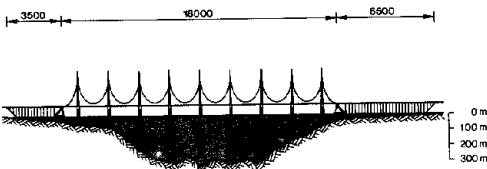


Fig. 4 Længdeprofil

På trods af den kaotiske geologi er funderingsforholdene tilsyneladende relativt gode. Selvom dybhavsboringer endnu ikke er foretaget er det ved ekstrapolation af forholdene på de lavvandede kontinentalsokler og overfladiske bundprøveoptagninger konstateret, at udbredte blødbundsområder ikke er sandsynlige. Til gengæld minder bunden om et undersøisk bjerglandskab.

Området mellem de to kontinenter er, som det kan forstås seismisk aktivt, gennemsat af forkastninger. Specielt øst for de mulige krydsningssteder er der i historisk tid konstateret adskillige jordskælv. Accelerationer for bevægelser af jordskorpen på 0.27 gange tyngdeaccelerationen må indtil videre forudsættes.

Øst-vest vinde er fremherskende med en vis venturi effekt fremkaldt af bjergene på begge sider af strædet som bevirker en lokal hastighedsforøgelse. Max. hastigheder på 50-60 m/sec. er noget højere end for vore hjemlige forhold.

Bølger (dønninger) fra Atlanterhavet kan nå højder på 11 m med 100 års frekvens, medens strømningshastigheder på op til 5 - 6 knob kan forekomme. Strømforholdene er stærkt påvirket af vindforhold og tide vand, men kompliceres derudover af den store forskel i saltholdighed i Middelhavet og Atlanterhavet. Der konstateres derfor modsat strømning af overfladevand (indadgående) og det mere salte vand (udadgående), hvilket der må tages højde for ved marine operationer i forbindelse med bygning af pillerne for en fast forbindelse.

Udover de naturgivne omstændigheder må der tages hensyn til den kraftige internationale skibstrafik gennem strædet.

Op til 550.000 DWT olietankere passerer foruden stykgods og andre tankskibe i alle størrelser. Den samlede skibstrafik andrager ca. 50.000 skibspassager om året.



De største skibe ville i tilfælde af kollision med en bro-pille kunne medføre ækvivalente skibsstødkræfter på op mod 1000 MN.

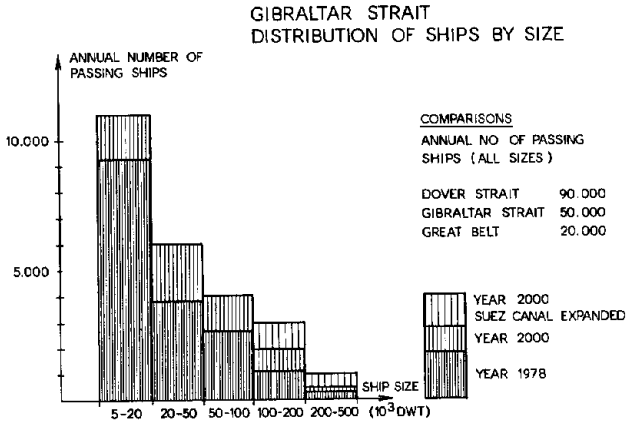


Fig. 5 Skibspassager fordelt efter størrelse

#### Tekniske muligheder

Gennem tiden er mange løsninger blevet foreslået til Gibraltarforbindelsen. Løsningerne har omfattet:

- Broer på faste funderinger på havbunden
- Flydebroer forankret i havbunden
- Flydende tunneller forankret i havbunden
- undersøisk tunnel på "stylter"
- Sænkettunneller
- Borede tunneller

Endvidere har det været foreslået at bygge en kolossal dæmning over strødet i kombination med anlæg af et kæmpemæssigt kraftværk.

Dette sidstnævnte er dog næppe realistisk bl.a. på grund af de helt uoverskuelige miljømæssige konsekvenser et sådant anlæg ville medføre.

I dag må de mest relevante løsninger siges at omfatte en fast bro, en flydebro og en boret tunnel., uden at det på nuværende tidspunkt éntydigt kan afgøres, hvilken der vil være anlægsøkonomisk og driftsmæssigt mest fordelagtig.

Broløsningen på fast fundering og flydebroløsningen har i de sidste ca. 10 år nærmet sig realismen i betydelig grad.

Funderinger på 250-300 m vand er med udviklingen af store beton-og stålplatformstyper til Nordsøen og ud for USA's vestkyst absolut blevet realistiske, og de nødvendige hængebrospændvidder på 2-3000 m, eller mere er, ligeledes gennemførlige på baggrund af den nyeste hængebroteknologi. Cognac stålplatformen (USA) er installeret på 300 m vanddybde, og den norske Gullfaks C betonplatform, p.t. under bygning, skal placeres på 220 m dybde. Platforme til 350 m eller mere er udviklet af flere store entreprenørselskaber bl.a med henblik på det store Troll-felt i den norske sektor af Nordsøen.

"Tension leg" platforme som udført af Olieelskabet Conoco i den engelske sektor af Nordsøen har bidraget væsentligt til udvikling af egnede forankringssystemer for flydebroer som supplement til den nyeste flydebroteknologi, bl.a. anvendt ved Hood Canal broen i det nordvestlige USA.

Selvom det længste udførte hængebrospænd i dag er 1412 m (Humberbroen i England) er broer med langt større spænd i planlægnings- og projekteringsfasen, som f.eks. Akashi broen i Honshu-Shikoku brosystemet i Japan (1990 m) og broen over Messina strædet (3300 m).

Den eksisterende teknologi er således tilstrækkelig til at gennemføre projektet. Der er dog ingen tvivl om, at udviklingen både med hensyn til dybvandsplatforme og store spændvidder, herunder tilkomsten af nye materialer (som i dag må anses for eksotiske) vil åbne for nye perspektiver i de kommende år indtil projektet nærmer sig muligheden for udførelse.

### Tekniske løsninger

Med de store vanddybder i Gibraltarstrædet er der ingen tvivl om, at broløsninger på faste funderinger må udformes med meget store spændvidder. Optimeringsundersøgelser har vist, at spændvidden i tærskel linieføringen bør være mellem 2000 og 3000 m. Sådanne spændvidder er med dagens teknologi kun mulige at udføre som hængebroer. Det klassiske hængebro-system har den store fordel, at det er naturligt stabilt i en byggefase på grund af sin konservative virkemåde. En skråstagsbroløsning ville i færdigbygget tilstand eventuelt kunne fungere tilfredsstillende. I udførelsesfasen støder princippet imidlertid på uoverstigelige problemer, på grund af manglende mulighed for stabilisering af den lange udkragede brobane, indtil sammenkobling med naboudkragningen ved fagmidte har fundet sted.

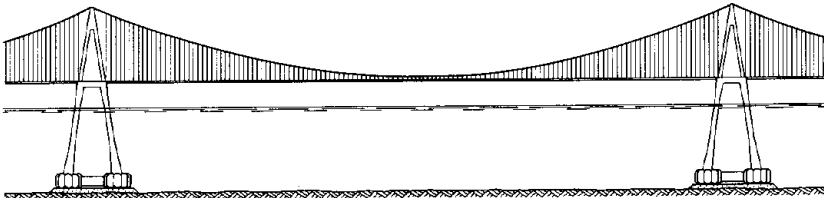


Fig. 6 2000 m hængebrofag

Hængebroen tænkes udført med såkaldte stive pyloner af form som omvendt V. Herved opnås, at stivheden af det samlede system af sammenhængende fag bliver størst mulig. Andre systemer med traditionelle faste forankringer i hvert andet fag, således som udført for Oakland Bay broen i San Francisco, kan dog også komme på tale, men kræver 50% flere pillekonstruktioner på dybt vand.

Et særligt problem opstår med hensyn til temperaturudvidelser af brobanen. På grund af de store længder må anordnes store dilatationsfuger med fugebevægelser på 1 à 2 m ved pylonerne. Med særlige hydrauliske styreanordninger kan disse bevægelser minimeres, ligesom vinkelknæk kan gøres så små, at jernbanetrafik kan overføres.

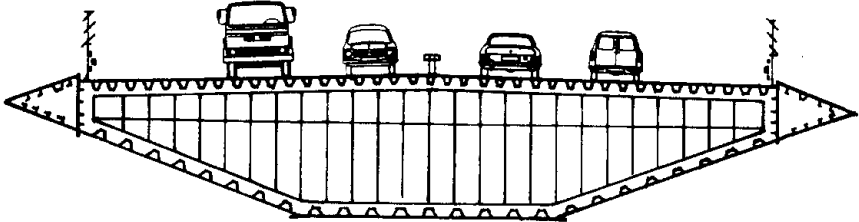


Fig. 7 Traditionel stålkassedrager for vejbro

Brodragerudformning er egnet for dels en ren 4-spolet motorvejsforbindelse samt en kombineret vej- og enkeltsporet jernbaneforbindelse er blevet undersøgt. Forskellige tværsnit er blevet undersøgt i vindtunnel for eftervisning af tilstrækkelig aerodynamisk stabilitet under høje vindhastigheder. Undersøgelserne knytter sig iøvrigt til erfaringerne fra tilsvarende undersøgelser i forbindelse med andre store broer, bl.a. for en hængebro over Storebælts Østerrende.

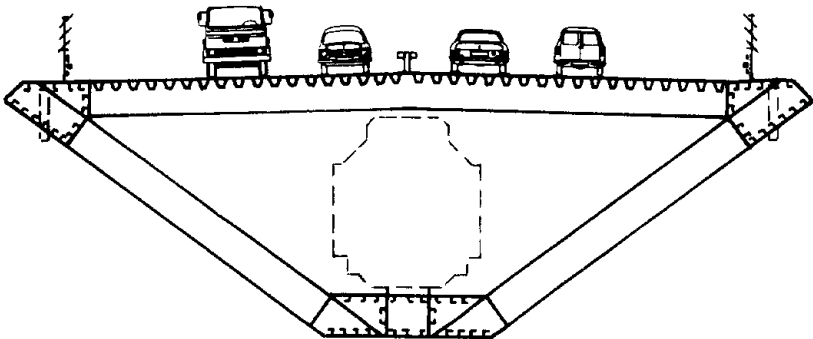


Fig. 8 Kombineret vej- og jernbane tværsnit

Forskellige andre udformninger af brobanens tværsnit er undersøgt. En løsning, der udmærker sig ved særlig stor aerodynamisk stabilitet, er det såkaldte "twin deck" tværsnit. Med dette tværsnit forhindres torsionssvingninger effektivt ved at opdele drageren i to af hinanden adskilte dragere svarende til hver trafikretning. De to dragere forbindes indbyrdes med tværbjælker, således at de kun kan bevæge sig som et samlet legeme.

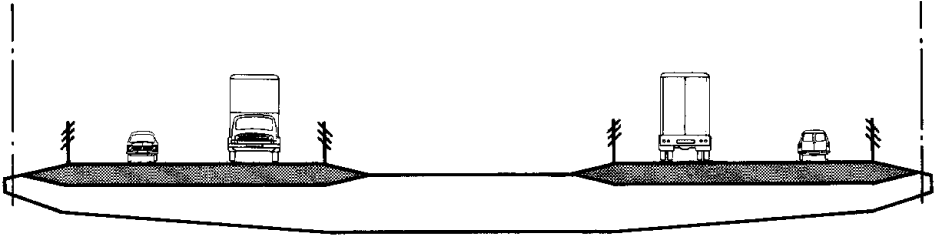


Fig. 9 "Twin deck" tværsnit

En anden interessant udformning er den elliptiske drager, i hvilken trafikken afvikles i et beskyttet miljø inde i drageren, der er udformet som en art tunnel. Dette tværsnit vil være noget dyrere end de mere traditionelle åbne bl.a. på grund af større materialeforbrug.

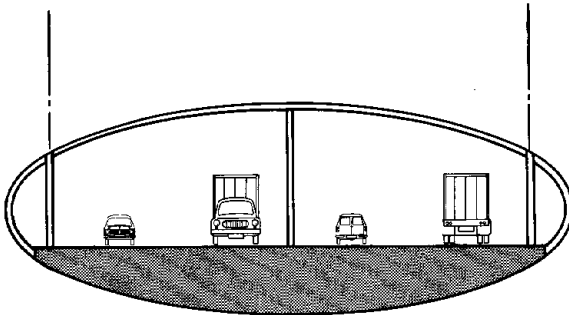


Fig. 10 Elliptisk tværsnit

På åbne tværsnit vil det dog være muligt at beskytte trafikken imod store vindhastigheder ved passende afskærmninger.

For brodragerne kan kun stål komme på tale af hensyn til vægten. I fremtiden kunne mere avancerede letvægtskonstruktioner dog måske blive aktuelle.

Hovedkablerne kan udformes på traditionel måde med varmtforzinkede koldtrukne tråde. Af hensyn til montagen under udsatte forhold påregnes trådene samlet i præfabrikerede kabelenheder, der monteres samlet.

I de senere år er der sket en betydelig udvikling af avancerede højstyrke kompositter. Sådanne kabeltyper med styrke/vægtforhold, der er adskillige gange højere end ståls, åbner mulighed for meget længere spænd, såfremt produktionsprisen kan bringes ned på et rimeligt niveau.

Pylonerne, der bliver 300-400 m høje, kan afhængig af selve pillekonstruktionen tænkes udført i stål eller højstyrkebeton. Udførelsen vil kunne ske på traditionel vis med montage af store undersektioner henholdsvis støbning i store klatreforskallinger.

Pylonpillerne, der ved omhyggelig placering på tærskellinien alle kan placeres på mindre end 300 m vanddybde, kan udformes på forskellig måde afhængig af krav til bæreevne, dimensionerende skibsstødkraft og robusthed.

Det mest velegnede koncept er udformet som en modificeret udgave af de store Nordsø-betonplatforme for olieproduktion.

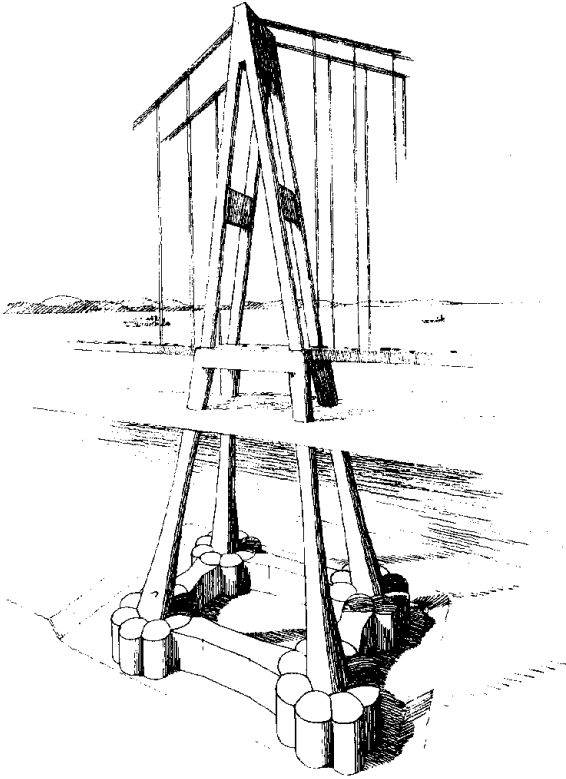


Fig. 11 Betonpille

Løsningen består af 3 hovedelementer:

- en firfodet bundcaisson, hvor fødderne udgøres af multicellede caissoner indbyrdes forbundet med grundbjælker
- firedobbeltkoniske, hældende ben
- forbindelsesplatform i niveau med brobanen.

Bundcaissonen støbes delvist i tørdok, evt. i mindre enheder, og udsejles til dybere vand for færdiggørelse i flydende tilstand. Under færdiggørelsen synker konstruktionen dybere og dybere ned i vandet. Efter udførelsen slæbes den ca. 600.000 t tunge ballastede pille til brolinien, hvor den nedsænkes ved vandballastering til kontakt med den i forvejen forberedte bundafretningspudd. Hvor bunden har hældning, må påregnes undersøisk terrassering udført ved sprængning og gruspudd samt en tilpasset caisson-underside.

Efter placering injiceres basen under pillen på lignende måde som for Nordsø-platformerne.

Det viste koncept forudsætter en moderat høj styrke af betonen, ca. 60 MPa i cylinderstyrke. De for tiden løbende store udviklingsprojekter for decideret højstyrkebeton kan muliggøre yderligere optimering af pillekonstruktionen.

Et væsentligt kriterium ved pilleudformningen er minimering af bølge og strømpåvirkninger og medsvingende vandmasser ved jordskælvspåvirkninger. Der er derfor regnet med runde, slanke ben gående direkte op til brobaneniveau, uden den for brobygning sædvanlige plint i vandspejlsniveau.

En pille udformet som en rumlig stålgyttestruktur sammensat af cirkulære stålrør som en offshore stålgyttestruktur har ligeledes været undersøgt. Denne udformning egner sig til dårligere funderingsforhold, hvor pælefundering er nødvendig. Stålkonstruktionen vil veje 30.000-50.000 t og funderes på  $\varnothing$  2-3 m stålpæle rammet med hydraulisk aktiveret undervandshammer til op mod 100 MN bæreevne. En variant heraf er en firbenet "tetrapod" af stålrør individuelt funderet på havbunden - evt. med pæle. Stålrørene samles i i pylonbaseniveau i en særlig betonplint.

Fælles for stålløsningerne er en formodentlig kortere levetid end betonpiller og mindre robusthed over for vandrette påvirkninger såsom skibsstød.



### Skibsstødsundersøgelser

Skibsstødsproblemet har været vist særlig opmærksomhed i projektet. En vildfarende supertanker på  $\frac{1}{2}$  million DWT, der rammer en bropille med 16 knob, kan udvikle en ækvivalent stødkraft på 1000 MN. Selvom en betonpille udført efter ovenstående principper er meget robust for utilsigtede påvirkninger, kan den ikke umiddelbart modstå en sådan kraft.

Forskellige løsninger for energiabsorberende, skibsstøds-reducerende konstruktioner har været undersøgt. Blandt de undersøgte muligheder er en løsning baseret på særlige udformede pontoner indbyrdes forbundet med et kabelsystem og forankret til havbunden gennem et system af kabler og stenfyldte betonkasser (dødvægte) på havbunden.

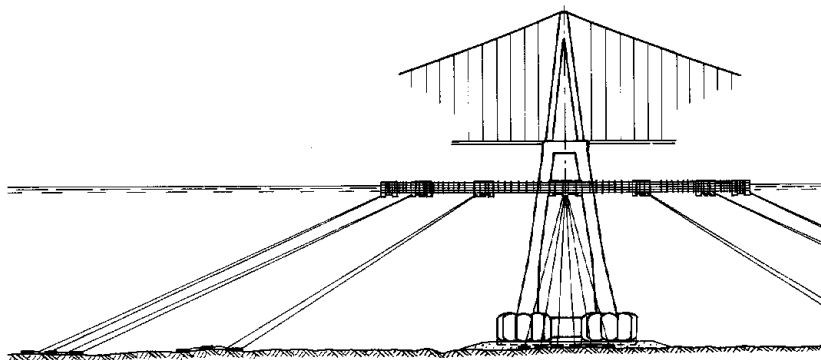


Fig. 12 Skibsstøds-absorberende kabelnet

Et sådant system kan være økonomisk overkommeligt i betragtning af den store værdi af broanlægget iøvrigt.

Systemet kan udformes med progressiv karakteristik, således at det både er i stand til at minimere skader på mindre skibe og effektivt standse store skibe på kollisionskurs. Systemet er iøvrigt uafhængigt af pillen og kan udskiftes og vedligeholdes uafhængigt af denne.

Et særligt risikoanalysestudie har iøvrigt vist, at det er tvivlsomt, om en sådan beskyttelse vil være nødvendig, men dette afhænger naturligvis af det ønskede risikoniveau.

### Flydebroløsning

Som led i undersøgelserne har også en flydende brokonstruktion været undersøgt.

En sådan løsning må nødvendigvis på grund af bølgerne være baseret på semisubmersible princippet med helt neddykkede bærepontoner. Pontonpillerne må holdes neddykkede ved et system af lodrette og skrå kabler forankret i betonvægte på havbunden, således at minimal bevægelse sikres. Den typiske spændvidde for en sådan bro vil formodentlig være ca. 200 m, idet der primært vil være tale om ståloverbygninger. Forankringskablerne kan udformes ved hjælp af en særlig teknologi som anvendt ved tension leg platforme (drill casings) men de kommende års udvikling af nye fiberforstærkede materialer vil utvivlsomt åbne nye interessante muligheder.

Det flydende brosystem, som må omfatte faste gennemsejlingsfag på moderate vanddybder tæt ved land, lider af den skavank, at det vil være vanskeligt og dyrt i vedligeholdelsesmæssig henseende på grund af bl.a. konstant indbyrdes små bevægelser mellem flydepillen og overbygninger samt det marine miljøes angreb på alle konstruktionselementer.

### 6. Konklusion

-----

En bro over Gibraltarstrædet er en af de største ingeniørmæssige udfordringer. Det er gennem flere studier konkluderet, at et sådant projekt er teknisk gemmenførligt, omend økonomien på baggrund af de forventede trafiktal vil være tvivlsom i de næste årtier. Nye materialer og metoder, og overordnede udviklingsplaner mellem de berørte verdensdele, kan imidlertid ændre dette forhold og projektet bæres videre i nye, mere konkretiserende undersøgelsesfaser.

PC LABORATORIET A/S.  
MÅGEVEJ 7 - 9690 FJERRITSLEV.  
TLF. NR. 08-213200.

KJØKK A/S. REG. NR. 40470  
ISLANDS BRYGGE 22 - 2300 KBH. S  
GIRONR. 5 40 03 92

---

Beton før og efter 1947

af

Preben Christensen

Geolog. Mag. Scient

<b>Beton før og efter 1947.</b>	<u>Side</u>
<u>1. Indledning.</u>	35
<u>2. Konstruktionstyper.</u>	35
<u>3. Normer og specifikationer.</u>	36
<u>4. Miljøpåvirkninger.</u>	37
<u>5. Holdbarhed.</u>	38
<u>6. Levetid.</u>	39
<u>7. Forskning og udvikling.</u>	39
<u>8. Fremtid.</u>	40
<u>9. Litteratur.</u>	41

## 1. Indledning.

På Dansk Betonforenings 40 års fødselsdag vil jeg ønske foreningen tillykke med dens runde dag. Jeg vil samtidig håbe da det er en udpræget mandeklub - at den får en længere levetid, end den mandlige gennemsnitsalder på ca 72 år.

Mit kendskab til dansk beton og betonteknologi, begyndte i ca. 1965, hvor jeg blev ansat som studentermedhjælper i H+H Industri A/S, Udviklingsafdelingen i Lyngby, hos Nerenst. Dengang var han vist iøvrigt formand for Dansk Beton Forening.

Nerenst havde den vision, blandt mange, at vi bl. a. skulle arbejde med betonteknologi, således at vi bedst muligt kunne rådgive om Nymølle-materialernes rette brug. Det gjorde vi så. Specifikationer til tilslaget i Københavnsområdet var generelt "Sædvanlig Nymølle Kvalitet."

Bortset fra, at jeg i H+H tiden blev meldt ind i DBF, som personligt medlem, vil jeg lade resten af min egen historie ligge.

Arbejdsområderne, der særligt havde interesse i H+H var:

- Betonproportionering, og senere
- Betons holdbarhed.

H+H's udviklingsafdeling havde til huse i den gamle gardinfabrik i Lyngby, hvor SBI tidligere havde huseret. Meget af udstyret i laboratoriet var iøvrigt købt af SBI, så der var en vis historie bag. Grejet havde prøvet noget i forvejen.

Udstyret omfattede:

- Apparatur til fysisk prøvning.
- Apparatur til kemisk prøvning.
- Apparatur til optisk undersøgelse af materialer.

Indgangen i arbejdsområdet blev derfor i væsentlig grad

- Materialeteknologi
- Sand og sten til beton.

Den konstruktive side af betonen var ikke en del af dagligdagen, og skal i store træk lades uberørt i resten.

## 2. Konstruktionstyper.

Beton har været brugt til alt muligt. Som regel er det gået godt. Somme tider er det gået galt. De største mængder er først og fremmest gået til militære anlæg, infrastrukturens udbygning og i de senere år husbygning. Betonen har været brugt til alt muligt, fra gravsten og skulpturer over skibe og tunneller til Farøbroen. Betonen har været brugt af soldater, selvbyggere og ingeniører, med vekslende held. Otto Christensen (1) siger: "Beton blev de første 50-100 år udført på grundlag af praktiske erfaringer fra Tyskland, Frankrig og her fra landet. De er

faringsbaserede konstruktioner holdt. Den dårlige betons fremkomst falder sammen med, at man fremfor iagttagelser på byggepladsen baserer sig på laboratorieforsøg og forskning. Det er en side af sagen. Empirikere og selvbyggere har næppe haft den store indflydelse på den udvikling af formbarheden og formen, der har muliggjort skibsbygning, smukke vandtanke og Sidney-operaen. Konstruktivt må kunsten være at nyttiggøre betonens gode egenskaber til noget der også er pænt og bestandigt. Man kan glæde sig over, at militærpersoner formår ved design og (Otto Christensen (1)) "et meget nøje og effektivt tilsyn med stor myndighed" at fremstille holdbare konstruktioner. De er blot ikke udpræget pæne.

### 3. Normer og Specifikationer.

Jernbetonnormer i Danmark fremkommer i Ingeniøren 1908. De revideres tilsyneladende i 1930 (2). Her står f. eks.

- Udføres af folk fortrolige med jernbetonarbejde.
- Er der akkord anbefales særlig effektiv kontrol.
- Sandet må ikke give ringere styrke end normalsand.
- Stenene skal være frostfaste.
- Minimum 300 kg cement ved udendørs konstruktioner og min. 270 kg ved indendørs konstruktioner.
- Det anbefales at kontrollere konsistensen.
- Vandtilsætningen må ikke være så stor, at der dannes søer på overfladen.
- Betonen skal holdes våd 1-6 uger for at undgå svind.
- Regler for beskyttelse mod frost, afformningstid m. m.
- Der bør udtages materialeprøver til undersøgelse. Bygherren betaler hvis de er gode nok.
- Styrkekontrol bør udføres.

Ændring af DIF's normer diskuteres fra 1940. I 1949 udkommer DS 411, 1. udgave. Der er mange moderniseringer, men materialekravene er ikke afgørende ændret.

Der opstilles nu krav til V/C tal, miljøklasser, konsistens, min. cementindhold, kontrollens omfang og udførelse, dæklag o. m. a. I normen indgår såvel materialekrav som prøvekrav.

I 1959 blev nedsat et udvalg til at revidere DS 411. Det lykkedes i 1973. DBF havde en repræsentant i det repræsentative udvalg.

I forhold til 1. udgave ses mange fornyelser, såsom:

- Regler for talbehandling.
- Miljøklasser defineres.
- Materialekrav ved henvisning til andre normer.
- Ingen krav til cementindhold.
- Blandingsforhold næsten udgået.
- Styrkeklasser og kontrol.

Både DS 411 1. udgave og DS 411 2. udgave er på 64 sider. For at forstå 2. udgave findes en vejledning på 55 sider.

I 1984 kommer DS 411 3. udgave. Også her har DBF været med i det

repræsentative udvalg. 3. udgave var kun 5 år undervejs. Den er på 98 sider inklusive vejledning.

Bortset fra atter ændrede regneregler og et afsnit om branddimensionering er de store forskelle vanskelige at få øje på.

I 1986 kom så BBB, der også kan opfattes som en slags norm. Den er på afgørende punkter afvigende fra de forskellige udgaver af DS 411, og bringer specifikationer for anlægskonstruktioner og husbygningskonstruktioner i nogenlunde harmoni.

Nedenstående tabel sammenfatter normernes og BBBs krav til V/C tal og dæklag.

Miljøklasser	DS 411				BBB
	1. Udgave		2. Udg.	3. Udg.	
	PC (A)	PC (R)			
SA	0.55	0.75		(<0.40)	
A	0.60	0.80	<0.6	<0.50	<0.45
M	0.65- 0.70	0.85	<0.7	<0.60	<0.55
P	0.75	0.95			-

V/C tal og miljøklasser i diverse normer.

Der bemærkes væsentlige reduktioner i V/C kravene.

Dæklag	DS 411			BBB
	1. Udgave	2. Udgave	3. Udgave	
SA	3-5 cm			
A	2-3 cm	30 mm	+30 mm	-
M	2-3 cm	20 mm	+20 mm	-
P	1 cm	10 mm	+10 mm	-

Dæklagstykkelser i diverse normer.

Der noteres ingen ændringer i krav til dæklagstykkelse, men V/C kravene medfører tættere dæklag.

#### 4. Miljøpåvirkninger.

I ingen af normerne tages specifik stilling til særligt aggressiv

miljøklasse. Det er forståeligt men uheldigt i og med at det ofte er hårdere miljøpåvirkninger end forudsat der har medført hastig forvitring af beton.

Miljøpåvirkninger på en given konstruktion er ikke nødvendigvis konstante. Der opstår ændringer med tiden. Nogle miljøpåvirkninger ændres umærkeligt langsomt. Andre ændringer sker pludseligt.

Som eksempel på det første kan nævnes afbrænding af fossilt brændsel. Dette medfører:

- Øget indhold af svovl og kvælstofforbindelser i atmosfæren.
- Formentlig øget indhold af kultveilte i atmosfæren.
- Faldende pH i regnvand.

Disse ændringer vil - langsomt eller hurtigt - øge betons forvittringshastighed.

Som eksempler på pludselige ændringer kan gives:

- Brug af vejsalt.
- Opførelse af ny skorsten i vindretningen.
- Grundvandssænkninger.

Særligt introduktionen af vejsalt som en yderligere miljøpåvirkning har givet god gang i forvittringshastigheden.

For nogle konstruktioner vil det modsvarende være muligt at mindske miljøpåvirkningen ved etablering af isolering, klimaskærm, afdækninger, etablering af fald, overfladebehandling osv. Det kan konstateres, at især ændringer i atmosfæren og regnvandets sammensætning, er sket hastigt efter 1947. Det er dog næppe Dansk Betonforenings skyld. Saltning er ej heller DBF's skyld, men saltet frakendes i nogen grad af DBF i 1973 (3).

## 5. Holdbarhed.

Betons holdbarhed, eller mangel på samme, har været i focus altid.

I. h. t. Otto Christensen (1) er problemerne skabt i laboratorierne, fortrinsvis på DTH. Særligt de vandrige "rende-betoner" synes at have givet mange korrosionsskader.

Holdbarhedsforskning som sådan blev først med ATV initiativet taget op i 1950'erne, på SBI. Efter en aktiv og frugtbar indsats skete en række praksisændringer foranlediget af alkalivalgets vejledning nr. 1 (4). Det tilsigtede resultat udeblev i nogen grad.

SBI's aktiviteter blev i et vist omfang videreført på Betonforskningslaboratoriet i Karlstrup, hvor holdbarhedsforskning dog aldrig fik en specielt fremtrædende plads.

Betonforeningens publikation, "Beton og Tøsalte" (3) gav stødet til meget. Rapporten konkluderer, at tøsalt øger skadesomfanget på beton, der får frost, men ikke har generel indflydelse på udviklingen af alkalikiselreaktioner.

I 1977 begyndte tyndslibsmikroskopi på TI. Her blev det hurtigt klart, at det var sandet, der reagerede. TI-mørtelprisme-metoden, der er opfundet af Chatterji i H+H, baserer sig på at salt



accelererer udviklingen af alkalikislerreaktioner. Kombinationen af denne og mikroskopi blev grundlaget for den holdbarhedsforskning, der siden har foregået særligt på TI, og nu spreder sig i andre laboratorier. Initialdefektens indflydelse på holdbarheden blev samtidig studeret, særligt på BKI. Disse nyere tiltag, sammen med andre danner grundlag for BBB, der nu skal løse alle holdbarhedsproblemerne. Det håber vi så den gør.

Holdbarhedsproblemerne har været frugtbare. De har medført:

- Øget bevidsthed om materialevalg og initialkvalitet.
- Øget kendskab til danske råstoffers placering og kvalitets egenskaber.
- Udvikling af hvad der ligner en holdbarhedsteknologi.
- Fremkomst af en række nye (og bedre) betontyper.
- Udvikling af reparationsteknologi hos mange gode entreprenører.
- Udvikling af inspektions- og vedligeholdsrutiner for beton bygværker.
- Udvikling af metoder til måling af andet end betonens styrke.
- Mange, gode foredrag i DBF.

## 6. Levetid.

Det vil være hensigtsmæssigt at kunne dimensionere betonkonstruktioner efter levetid. Det kan man ikke.

En række konstruktioner har indbyggede ingredienser, der burde medføre hastig forvitring og kort levetid. Mange af dem har holdt længe og vil holde længe endnu.

Mange konstruktioner, der bygges med dagens foranstaltninger vil kunne holde meget længere end nødvendigt, og sikkerheden er muligvis blevet for stor. På den anden side set er det nok at foretrække, i det mindste foreløbig. Det må f.eks. erindres, at spekulationsbyggerierne i brokvarterene i København, der snart er 100 år gamle, stadig står og bruges, på trods af en forventet levetid på ca. 30 år. Sådan vil det nok også være med mange af vor tids betonkonstruktioner om føje år.

Levetidsdimensionering bør gives høj prioritet i fremtiden, fordi det både har med befolkningens levevilkår at gøre, men også har økonomisk betydning for samfundet. En for lang levetid er ikke nødvendigvis af det gode, men det er en for kort levetid heller ikke.

## 7. Forskning, udvikling og formidling.

Udover hvad der allerede er fremført om holdbarhedsforskning kan fremføres følgende:

Forskning og udvikling skal før eller siden omsættes i praksis, hvilket ofte søges formidlet i form af artikler, lærebøger, foredrag, undervisning og tilsvarende. Den til rådighed stående viden er til enhver tid større end den viden der bruges. Måske er det derfor Otto Christensen mener, at når man først er på erfaringsmæssig sikker grund, er det bedst at blive der.

Dansk Betonforening er placeret centralt i formidlingsprocessen ved

- publikationsvirksomhed
- udvalgsarbejde
- foredragsvirksomhed og
- efteruddannelsestilbud.

Der er nok at formidle til forskellige målgrupper, såsom:

- bygværksejere
- rådgivere
- entreprenører
- betonleverandører
- materialeleverandører.

Ca. da DBF blev stiftet omtaler Nordisk Betonbibliografi (5) ca. 3500 titler på artikler mm., der alle er på dansk, norsk eller svensk. De er naturligvis ikke stadig relevante allesammen.

Omfanget illustrerer dog at

- dem, der tror de ved noget, prøver også at få det ud.

Holdbarhedsproblemerne som plejes dagligdags, ikke blot i Danmark, men overalt i verden viser imidlertid at

- den tilgængelige viden bliver ikke brugt.

Hvad der er publiceret totalt i dag ved jeg ikke. Hvorledes dette gab, der er stigende, lukkes, er uklart. Formidlingstilbudene er omfattende, men modtageligheden hos målgrupperne synes ringe, fordi dagligdagen åbenbart prioriteres højere end det at blive klogere.

I mellemtiden fortsætter forskningen - hvad den også skal - med at indhente ny viden, der ej heller bliver brugt. Hvad gør vi? I 1875 udgav Herholdt "Vejledning i husbygningskunst" (6). I 1987 markedsfører Beton EU et kursus med titlen: Om kunsten at armere beton".

Forskning, udvikling og formidling er altså ikke kommet så vidt, at processen at fremstille en - helst holdbar - betonkonstruktion er bragt frem til at være et håndværk.

Nogle burde overveje, hvorledes informationsteknologien bedst muligt kunne bringes i anvendelse til at mindske videngabet. Måske DBF?

## 8. Fremtid.

I. h. t. Alborg Portland er der, siden cementens opfindelse, i Danmark anvendt ca. 75.000.000. ton deraf. Det svarer til ca. 300.000.000 kubikmeter beton, som det stadig er en kunst at armere. Den årlige tilvækst af beton kan skønnes til ca. 6.000.000 kubikmeter.

Uden betonen havde samfundet set anderledes ud end det gør, og uden betonen kunne samfundet ikke udvikles.

Beton - også holdbar beton - kan fremstilles af

- danske råvarer med
- dansk arbejdskraft, og
- lavt energiforbrug.

Energien kan stort set komme fra den danske del af Nordsøen. Det er at beklage, at den tages op ved hjælp af stålkonstruktioner, og ikke som i Norge ved hjælp af betonkonstruktioner.

DBF - som trods de 40 år - kan opfattes som en fagligt sprudlende forening, har sin plads m. h. t. den fremtidige betontechnologi særligt i:

- Formidlingsprocessen
- Efteruddannelsesprocessen og
- Initiering af nye tiltag ved især udvalgsarbejde.

DBF skal samtidig virke for at udbrede kendskabet til og brugen af et fremragende danskfremstillet produkt. På basis heraf kan entreprenørhvervet udvikles og øget eksport af viden og arbejde etableres. Mulighederne er store for at vende de utilsigtede holdbarhedsproblemer til en nyttig teknologiudvikling (7). Det er blot at tage fat derpå.

## 9. Litteratur.

- (1) Otto Christensen :  
"Betonegenskaber og holdbarhed".  
Dansk beton 2, nov. 1984
- (2) Normer for jærnbeton-konstruktioner i Suenson, E "Jærnbeton".  
København 1931.
- (3) Dansk betonforening :  
"Beton og tørsalte".  
Dansk betondag 1973 i Horsens.
- (4) Plum, N. M.:  
Foreløbig vejledning i forebyggelse af skadelige alkali-kiselreaktioner i beton.  
SBI, Teknisk forlag, København 1961.
- (5) Nordisk betonbibliografi 1900-1953.  
Teknisk forlag, København 1955.
- (6) Herholdt, J. D.:  
"Vejledning i husbygningskunst".  
Schwartz 1875.
- (7) Meinertz-Nielsen, N.:  
"Reparation og vedligeholdelse af betonkonstruktioner udenfor Danmark".  
Byggeeksportrådet 1986.



HØJSTYRKEBETON

Udvikling gennem 25 år

af

Hans Henrik Bache

AALBORG PORTLAND

AUGUST 1987

<u>INDHOLD</u>	<u>Side</u>
INTRODUKTION .....	45
ØNSKER OG KRAV .....	45
BETONS STYRKE .....	46
VIBROPRESNING .....	50
TEORI FOR STYRKE .....	50
PLASTIMPRÆGNERET BETON .....	52
FIBERARMERING .....	53
OVERFLADEKRÆFTER .....	54
DENSIT <sup>0</sup> .....	58
MODIFICERING AF GRUSET .....	60
STYRKE/SKØRHED .....	61
COMPACT REINFORCED COMPOSITE (CRC) .....	65
PROCESTEKNOLOGI .....	68
KONKLUSION .....	70
REFERENCER .....	71

## HØJSTYRKEBETON Udvikling gennem 25 år

### INTRODUKTION

Der har lige siden fremkomsten af moderne beton i slutningen af forrige århundrede, mange steder rundt omkring i verden, været arbejdet på at lave stærkere beton.

Indtil for 10-15 år siden lå niveauet for højstyrkebeton på hvad der svarer til trykstyrker omkring 60-80 MPa.

Indenfor de sidste 5-10 år er der imidlertid sket en udvikling af nye avancerede materialer, resulterende i en forøgelse af styrkeniveauet til omkring 150-270 MPa, og en sideløbende udvikling af teknologi, der sikrer materialernes tekniske anvendelse i bærende konstruktioner.

Aalborg Portland har bidraget væsentligt til denne udvikling, som for Aalborg Portlands vedkommende startede i begyndelsen af tredserne, med oprettelsen af Betonforskningslaboratoriet i Karlstrup (BFL) og som senere fortsattes på Cement- og Betonlaboratoriet i Aalborg (CBL).

I artiklen beskrives hovedtræk i udviklingen af højstyrkebeton i en 25 årig periode, set i lys af arbejdet på BFL og CBL.

### ØNSKER OG KRAV

Hovedmotivet for at udvikle stærkere beton er at lave konstruktioner med større bæreevne (eller med mindre tværdimensioner eller større spændvidder).

Udvikling af højstyrkebeton sigter primært på anvendelse i armeret beton, hvor armeringen optager trækpåvirkningerne og betonen trykket og overfører kræfter til og fra armeringen. Det er derfor naturligt, at udvikling af højstyrkebeton har været koncentreret om at skabe materialer med høj trykstyrke (se FIG. 1).

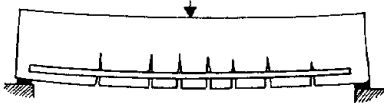


FIG. 1. I jernbeton optager armeringen træk og betonen tryk. Derfor fokuseres indsats for at lave stærkere beton på materialets trykstyrke.

Det er imidlertid ikke tilstrækkeligt at kreere høj trykstyrke. For at udnytte den høje styrke i armeret beton må der også stilles særlige krav til sejhed.

### BETONS STYRKE

Betons trykstyrke angives i konventionel faglitteratur at være en forholdsvis entydig funktion af vand/cementforholdet, idet variationer i gruskvalitet, mængder af grus m.m. synes at have underordnet betydning (se FIG. 2).

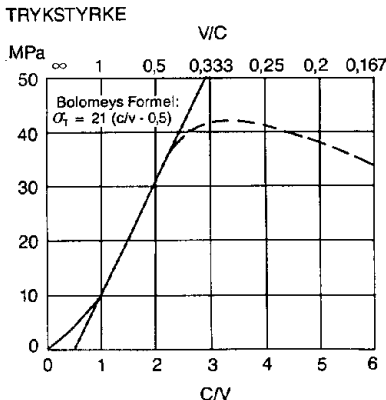


FIG. 2. Trykstyrke af konventionel beton som funktion af forholdet mellem vægt af vand (v) og vægt af cement (c) efter Efsen [1].

Spørgsmål (anno 1964): Er det muligt at fremstille vandmættet beton med meget lav v/c, f.eks. omkring 0.20 - og hvilken styrke vil et sådant materiale have?

Det betyder at styrken af konventionel beton primært er et spørgsmål om bindemidlets (cementpastaens) kvalitet, specielt hvor tæt cementen er arrangeret i cementpastaen forud for hydratiseringen.



Omkring 1964, hvor vi på BFL startede forskning vedrørende højstyrkebeton, havde de stærkeste betoner trykstyrker omkring 60-80 MPa. De fremstilledes med v/c omkring 0,30.

Vi stillede os følgende spørgsmål:

1. Ville det være muligt at pakke cement i cementpasta væsentlig tættere end svarende til v/c = 0,30?
2. Ville en sådan meget tættere struktur, f.eks. dannet udfra cementpasta med v/c = 0,20, resultere i meget højere styrker?
3. Ville sådanne styrker kunne udnyttes i beton?

Fra USA rapporteredes, fra undersøgelser af Treval C. Powers (Portland Cement Association), om styrker af små prøver af hårdt presset cementpasta på omkring 280 MPa, indicerende muligheder for at opnå meget tættere pakning af cement og for herigennem at opnå ekstremt høje styrker.

Vi analyserede selv forholdene, dels ved at sammenligne pakningstætheder af cement i cementpasta med pakningstætheden af andre partikelmaterialer, dels ved at udføre pakningsforsøg med små prøver af cement med efterfølgende hærkning og styrkeprøvning.

Sammenligningerne med andre partikelmaterialer viste, at cement i cementpasta pakkes væsentlig mindre tæt end f.eks. grovpartikelsystemer med stort set samme partikelform og relative partikelstørrelsesfordeling.

Ud fra rene geometriske betragtninger burde cement i cementpasta kunne pakkes svarende til v/c omkring 0,20 i stedet for 0,30 som var den nedre grænse (se FIG. 3).

Pakningsforsøgene udførtes på små prøver af tør cement ved vibration med forskellige niveauer af oscillerende tryk op til 10 MPa.

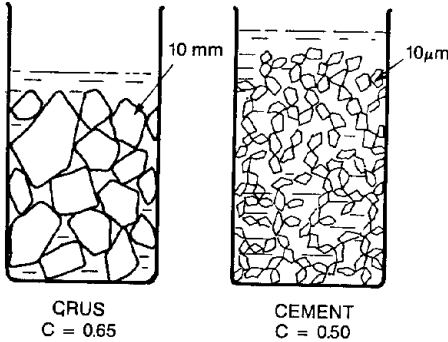


FIG. 3. Vandige suspensioner af grove partikler (grus) pakkes væsentlig tættere end tilsvarende suspensioner af cementpartikler (C angiver volumen fast stof i forhold til det totale volumen). Hvis cement kunne pakkes lige så tæt som grus, ville v/c-tallet kunne reduceres fra omkring 0.30 til omkring 0.20.

Vibropresning på moderat trykniveau blev valgt i stedet for højtrykspresning, fordi denne proces er væsentlig bedre til at orientere partikler og må forventes ikke at bevirke nær så meget uønsket partikelknusning som højtrykspresningen.

Der fremstilledes en række små cylinderformede prøver med forskellige pakningstætheder opnået med forskellige komprimeringstryk.

Efter vandimprægning og varmhærdning ved  $100^{\circ}\text{C}$  blev cylindrene trykprøvet (se FIG. 4).

Forsøgene viste, at cementpartikler kan pakkes væsentlig tættere end svarende til  $v/c = 0,30$ , og at meget tæt cementpasta har meget høj trykstyrke ... op til 350 MPa.

Resultaterne underbyggede Powers' konklusioner - men førte os ikke direkte til stærkere beton.

Hverken Powers' højtrykspresningsproces eller vores 5-10 mpa vibropresningsproces var egnede for betonemner af helt anderledes størrelse og form og med en langt mere kompleks indre geometri end ren cementpasta.

Imidlertid gav forsøgene, sammenholdt med analyserne af pakning af partikler i almindelighed, gode håb, idet vi kunne se, at vi ikke var op mod geometriske restriktioner for at opnå de tætte pakninger. (Havde dette været tilfældet var vi tvunget til at anvende højtrykskomprimeringsprocesser med partikelknusning).

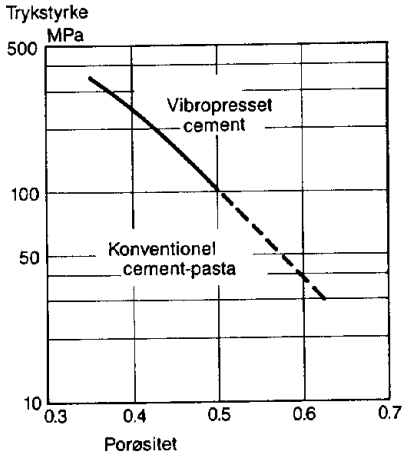


FIG. 4. Afhængighed mellem trykstyrke og porøsitet for hærdnet cementpasta. Eksperimenterne er udført med små cyl-inderformede prøver (volumen  $1 \text{ cm}^3$ ) fremstillet ved vibropresning med oscillerende trykpåvirkning op til  $10 \text{ MN/m}^2$  for de tætteste prøver. For normal god beton er porøsiteten af cementpastaen omkring 0,5-0,3 svarende til vand/cement-forhold 0,5-0,3 efter vægt.

I eksperimenterne anvendtes væsentlig kraftigere komprimering end ved vanlig betonfremstilling, resulterende i pastastykker op til  $350 \text{ MN/m}^2$ . Dette styrkeniveau er 5-10 gange højere end styrken af den cementpasta, der sammenkitter sand og sten i sædvanlig beton.

Der refereres til porøsiteten af cementpulveret forud for hydratisering [2].

Vi havde derfor forhåbninger om at kunne opnå lignende styrker i praksis, hvis vi kunne blive i stand til at pakke cement i cementpasta til samme tæthed i lavtryksprocesser - f.eks. hjulpet af effektive overfladeaktive stoffer.

Endvidere var vi klar over vigtigheden af effektiv mekanisk komprimering - ikke blot for at kunne arbejde med cementpasta med lavt v/c-tal, men også for at kunne fremstille kvalitetsbeton med tæt pakning af sand og sten (lavt bindemiddelvolumen).

På BFL besluttede vi at gøre en særlig indsats på komprimeringsområdet - med sigte på bred anvendelse, men med en ikke ubetydelig skelen mod højstyrkebeton.

## VIBROPRESNING

I årene 1967-72 udvikledes og studeredes i særlig grad processer til komprimering af beton med kombineret tryk og vibre-ring.

Det viste sig muligt med disse processer - og egnede grussam-sætninger - at forbedre betonkvaliteter betragteligt.

Der demonstreredes således fremstilling af cementfattig (sand-og stenrig) beton med trykstyrker omkring 100 - 130 MPa.

Højtryksvibropresning var særlig anvendelig til fremstilling af uarmerede eller svagt armerede emner som blokke og rør, som kan fremstilles på kraftige maskiner, og hvor der af geome-triske grunde ikke stilles de samme krav til betons flydeevne, som ved fremstilling af kraftigt armeret jernbeton.

## TEORI FOR STYRKE

Det har længe været kendt, at porer og revner nedsætter træk-styrken af skøre materialer langt mere end svarende til tvær-snitreduktionen. Det skyldes, at de giver anledning til spæn-dingskoncentrationer.

Griffith fremlagde i 1921 den nu klassiske teori for trækstyr-ken af skøre materialer med een enkel skarp revne (længde  $c$ )

$$\sigma = \sqrt{\frac{2 E \gamma}{\pi c}}$$

hvor  $E$  er elasticitetsmodulen og  $\gamma$  er overfladeenergien.

I porøse materialer er der mange porer og revner arrangeret i komplekse geometriske konfigurationer og af meget forskellig form og størrelse, der umuliggør nummerisk bestemmelse af styrker, men Griffiths teori giver alligevel en mængde in-formationer.

Ud over at give en kvalitativ forklaring på porøsitetens betydning for styrken fortæller den, at styrken vil øges, hvis porer/revnestørrelsen mindskes, og at styrken også vil øges, hvis porerne og revnerne udfyldes med materiale, der kan "armere" dem, selvom materialet ikke i sig selv er særlig stærkt.

Cementpasta er et finporøst materiale, hvor porøsiteten til en vis grad afspejler de oprindelige hulrum mellem cementpartiklerne inden den kemiske strukturdannelse.

På denne baggrund kunne man måske tænke sig at søge at øge styrken ved at anvende meget finere cement.

Teori for trækstyrke af sammensintrede skøre partikelmaterialer med tæt partikelpakning angav i overensstemmelse med Griffiths ideer, at styrken ville vokse med mindsket partikelstørrelse [3]:

$$\sigma \propto d^{-1/2}$$

Tidligere eksperimenter med sammensintrede keramiske partikler havde indiceret en lignende (lidt svagere) partikelstørrelsesafhængighed (se FIG. 5).

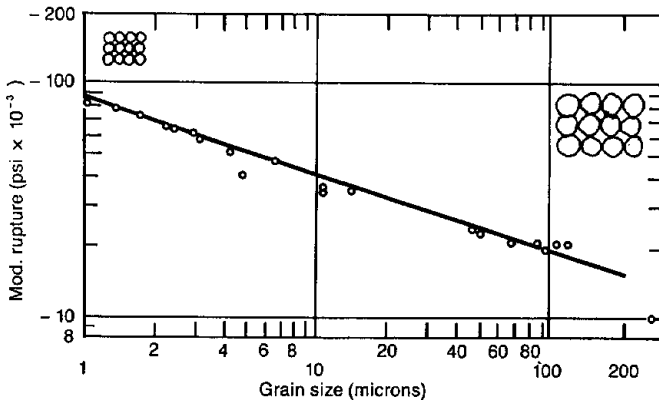


FIG. 5. Effekt af partikelstørrelse for styrken af sintrede keramiske materialer [4].

Erfaringer med meget fin cement rapporteret i litteraturen indicerede imidlertid ikke en tilsvarende gunstig effekt af anvendelse af meget fine partikler.

Det var som om finhed kun havde betydning for, hvor hurtig kemien forløber, ikke for slutstyrken.

Det var imidlertid ikke dengang muligt at arrangere ultrafine cementpartikler i den nødvendige tætte pakning.

Det var derfor ikke muligt at verificere, om principperne om styrkeforøgelse ved anvendelse af fine partikler også ville have gyldighed for cementsystemer.

Erkendelsen fra teorier og erfaringer fra keramik måtte lægges på hylden og vente på bedre tider.

#### PLASTIMPRÆGNERET BETON

Principperne om at øge styrken af beton ved at "armere" de hærdede materialer med stof, der udfylder porer og revner blev udnyttet til interessant nyudvikling i midten af tredserne.

I 1965 rapporteredes fra USA om store styrkeforøgelser ved imprægnering af beton med plast. For at vurdere de amerikanske resultater og for at få egne erfaringer indledtes i 1968 forsøg på BFL i samarbejde med kemiafdelingen på Risø.

Plastimprægneringen foregik ved at udtørre de hærdede emner under vacuum og presse en letflydende monomer ind (f.eks. ved 10 atm. i 18 timer), hvorefter plastmonomeren bragtes til at polymerisere ved radioaktiv bestråling.

Ved imprægneringen udfyldes alle grove porer og revner og også en væsentlig del af cementpastaens fine porer.

Processen består altså af en kombineret armering af grovporer og revner og dannelse af et stærkere bindemiddel.

Trykstyrken af effektivt plastimprægneret beton var meget høj, således fandt vi værdier fra 100 til over 200 MPa ved imprægnering af beton, med trykstyrker på omkring henholdsvis 25 og 100 MPa (se FIG. 6).

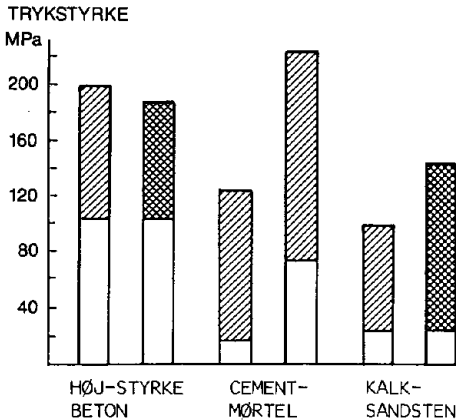


FIG. 6. Trykstyrke af forskellige plastimprægnerede betonmaterialer og kalk-sandsten. De nederste kolonner angiver styrken af de tilsvarende uimprægnerede materialer [5].

På grund af den meget komplicerede fremstilling er materialer baserede på effektiv imprægnering nok kun praktisk realiserbare i form af små emner - og næppe at finde som superjernbeton i stor skala.

Vi fandt materialerne fantastisk interessante, men valgte ikke selv at gå videre med aktiv forskning.

Vi har dog senere haft lejlighed til - stadig sammen med Risø - at undersøge plastimprægnering af forskellige højstyrkematerialer.

#### FIBERARMERING

På BFL arbejdede vi også med fiberarmerede cementmaterialer, men ikke udfra ønsker om at lave beton.

Arbejdet koncentredes om tynde emner af fiberarmeret cementpasta, bl.a. som en støtte til Dansk Eternit Fabrik's eget udviklingsarbejde.

Samtidig skete der en udvikling af såkaldt fiberbeton, der er beton iblandet mindre mængder, gerne relativt grove fibre (sjældent mere end 1-1,5 volumenprocent mod f.eks. 8-12 i eternitprodukter). Erfaringer viste, at indblanding af fibre i beton ikke havde nævneværdig effekt for styrken, men var egnet til at bibringe sejhed (se FIG. 7).

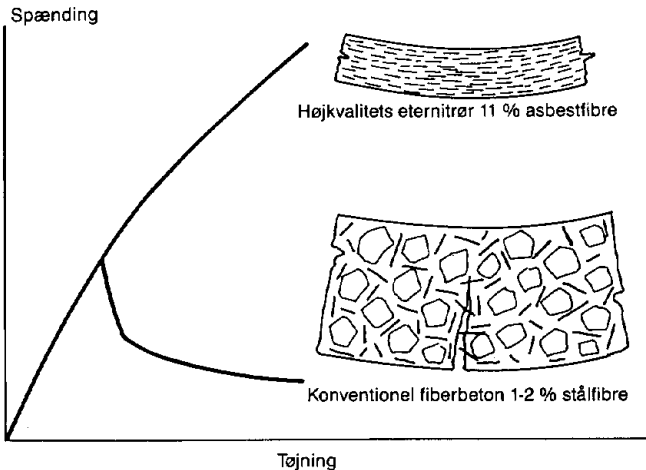


FIG. 7. Opførsel af fiberarmerede, cementbaserede materialer i bøjning (principskitse)

Det virkede som om virkelig effektiv finfiberarmering helt var forbeholdt de tynde og små specialemler af pasta, der kunne fremstilles ved avancerede spinde- eller valseprocesser og aldrig ville kunne komme på tale i materialer som beton med sand og sten, der fremstilles ved blødstøbning.

#### OVERFLADEKRÆFTER

Den maximale cementkoncentration i flydende cementpasta er, som tidligere nævnt, væsentlig lavere end hvad man måtte forvente udfra partikelgeometrien.



Dette skyldes tiltrækkende overfladekræfter mellem cementpartiklerne, der modvirker deres indbyrdes gnidning.

Jo større disse overfladekræfter er i forhold til de ydre kræfter, der søger at få pastaen til at flyde, jo lavere er den kritiske cementkoncentration (over hvilken pastaen ikke kan bringes til at flyde under påvirkning af de pågældende ydre kræfter).

Dette er illustreret i FIG. 8, hvor kritisk partikelkoncentration er afbildet som funktion af forholdet mellem ydre påvirkninger (proportionale med  $p d^2$ ) og indre trækpåvirkninger mellem nabopartikler (proportionale med  $\gamma d$ ). Figuren illustrerer, at den kritiske partikelkoncentration mindskes med mindskende partikelstørrelse (forudsat uændrede påvirkninger og uændrede overfladekræfter).

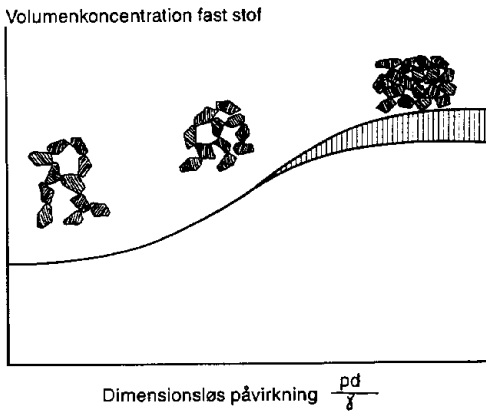


FIG. 8. Pakningstæthed af geometrisk ligedannede partikelsystemer som funktion af dimensionsløs påvirkning.  $p$  er påvirkningsniveauet (spænding/tryk),  $d$  partikelstørrelsen og  $\gamma$  overfladeenergien (refererende til adskillelse af fast-stofoverflader af partikelmaterialet fra kontaktafstanden til uendelig afstand) [6].

Det forklarer, hvorfor det er svært at udnytte ultrafin cement - vandbehovet bliver simpelthen for stort.

Det forklarer også, hvorfor man i konventionelle cementsystemer ikke har haft synderlig fornøjelse af specielle pakningsegnede partikelstørrelsesfordelinger. Overfladekræfterne har forhindret, at partiklerne arrangeres tæt i rimelig overensstemmelse med deres geometri.

I forsøgene med vibropresset cement beskrevet i FIG. 4 blev overfladekræfterne overvundet med store oscillerende trykkræfter (stor  $p$ ).

Støbning af beton under moderate mekaniske påvirkninger (små værdier af  $p$ ) kræver en elimination eller meget kraftig reduktion af de tiltrækkende overfladekræfter ( $\gamma$ ).

Datidens plastificeringsstoffer havde en vis effekt m.h.t at nedsætte overfladekræfterne mellem cementpartiklerne, men effekten var ikke nær den samme som i tilsvarende suspensioner af finmalet kvarts.

Det skyldes, at cementpasta er en kemisk aktiv suspension, hvor væsken har høje saltionkoncentrationer, og hvor der sker dannelse af nye finstrukturer, der binder cementpartiklerne sammen. Under sådanne betingelser er partikeldispergering baseret på elimination af overfladekræfter yderst vanskelig.

Heri lå hovedårsagen til, at man tidligere (før omkring 1970) ikke i praksis kunne fremstille beton med lavere  $v/c$  end ca. 0,30, ikke kunne udnytte ultrafin cement eller specialgraderet cement til at skabe højstyrkebeton og derfor ikke kunne fremstille beton stærkere end omkring 60-80 MPa.

Omkring 1970 skete der en afgørende udvikling m.h.t. dispergeringsmidler for cement i vandig suspension.

I USA udviklede Stephen A. Brunauer (Portland Cement Association) en specialcement indeholdende overfladeaktive stoffer (tilsat under formalingen), der effektivt eliminerede overfladekræfterne i cement/vand blandinger (se FIG. 9).

Brunauer havde bl.a. demonstreret mulighederne for med denne cement at fremstille højstyrkematerialer.

Han fremstillede således ved blødstøbing små prøver af ren cementpasta med  $v/c$  på kun 0,20, med trykstyrker omkring 250 MPa.

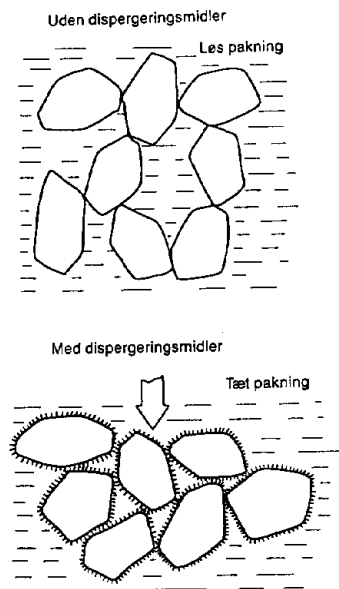


FIG. 9. Dispergeringsmidler er organiske molekyler, der forhindrer at partiklerne låses sammen af tiltrækkende overfladekræfter. De absorberes på overfladerne og virker kontakthæmmende ved en kombination af fysisk tilstedeværelse og elektrisk frastødning.

Først omkring 1970 introduceredes dispergeringsmidler, der var virkeligt effektive for cement i vandige suspensioner.

På BFL var vi fascineret af Brunauers resultater og igangsatte i 1971 et større forskningsarbejde, der, udover at "gentage" pastaforsøgene, sigtede på at producere "Brunauer Cement" og afprøve materialet i større betonemner.

Vore undersøgelser bekræftede Brunauers resultater med cementpasta og viste, at cementen kunne anvendes til at fremstille højstyrkebeton, bl.a. illustreret ved forsøg med store jernbetonbjælker udført i samarbejde med Dansk Spændbeton.

Som et kuriosum kan det nævnes, at Brunauer under et besøg på BFL udtrykte stor interesse for vore resultater med beton, idet det ikke var lykkedes for ham at lave beton.

Muligvis skyldes det, at Brunauer i sine forsøg med beton anvendte samme vægtmængde cement, som i konventionel beton - og ikke samme volumenmængde cementpasta, hvilket nemlig kræver 50% mere cement.

Sideløbende med Brunauers arbejde skete der en udvikling af syntetiske, overfladeaktive stoffer - de såkaldte superplastificerende tilsætningsstoffer (SPT), der stort set virkede ligesom Brunauers, men som er lettere at anvende, da de blot skal doseres i betonblandingerne.

SPT blev primært anvendt i betonindustrien til at gøre beton mere letflydende (flydebeton), men også til at lave højstyrkebeton, hvor SPT benyttedes til at reducere vand/cementforholdet.

F.eks. fremstilledes i midten af 70-erne i Japan betonkonstruktioner af beton med trykstyrker omkring 90 MPa, og i laboratoriet fremstillede Hattori beton med trykstyrker op til 120 MPa (blødstøbte 10x20 cm cylindre v/c = 0,25) [12].

#### DENSIT<sup>0</sup>

Fremkomsten af SPT fjernede i væsentlig grad de forhindringer, der tidligere havde været for at udnytte ultrafin cement og cement med særlig pakningsvenlige kornkurver til yderligere at øge betons styrke.

I foråret 1978 igangsattes forsøg på CBL med specialgraderede cementer opbygget af normale cementer tilsat omkring 30% ultrafin cement formålet ned til 5 gange mindre partikelstørrelse.

Ideen var 1) at etablere bindemidler med en meget tæt partikelpakning med den ultrafine cement arrangeret i mellemrummene mellem grovere (normal) cement i sig selv arrangeret tæt - og 2) at skabe en særlig finstruktur i det hærdede produkt afspejlende den fine cementdel.

I april havde forfatteren under et seminar i Stockholm lejlighed til at høre om Microsilica. En norsk kollega, Aud Trættenberg, fremviste elektronfoto af silica-støvet, hvoraf det fremgik, at partiklerne var kugleformede og af middelstørrelse 0.1  $\mu\text{m}$  (diameter) svarende til 1/50 - 1/100 af cements. Materialet bestod overvejende af amorft silica.

Af flere grunde ville dette pulver formodes at være meget bedre end ultra-fin formalet cement:

1. Microsilica har mindre partikelstørrelse end den ultra-fine cement og vil derfor være bedre egnet til at kunne pakke godt i hulrum mellem de normale cementpartikler.
2. Partiklerne, der er dannet ved kondensation fra gasfase, er som følge af dannelsesprocessen kugleformede i modsætning til de nedknuste cementpartikler, der er kantede, hvilket yderligere gør silica-partiklerne mere pakkningsegne end ultra-fin cement.
3. Partiklerne må forventes at kunne bidrage aktivt i den kemiske strukturdannelse, men er samtidig langt mindre reaktive end cement. Den mindre reaktivitet eliminerer nogle problemer med ikke helt tilfredsstillende dispergering og lynafbinding vi havde mødt med ultra-fin cement, og sikrer en mere højværdig finstruktur. (Med ultra-fin cement som finpulver risikeres, at de fine dele i stor udstrækning går i opløsning og ikke i samme grad præger slutstrukturen).

Vi ændrede derfor det oprindelige forsøgsoplæg og skiftede den fine cementdel ud med microsilica.

Den 8. maj 1978 fremstilledes de første prøver i form af skærvebeton med cement i tæt pakning ( $400 \text{ kg/m}^3$ ) og med en betydelig mængde microsilica ( $133 \text{ kg/m}^3$ ) i mellemrummene.

Skærvebetonen var gjort letflydende ved en kraftig overdosering (i forhold til vanlig praksis) af SPT. Vandbehovet var lavt, som vi havde håbet ( $100 \text{ kg/m}^3$  svarende til et vand/pulverforhold på 0.18). Strukturen af bindemidlet forud for hydratiseringen er vist i FIG. 10.

Den næste dag konstateredes ved måling på varmhærdede  $\varnothing 10 \times 20 \text{ cm}$  cylindre, at den mekaniske styrke var lovende (trykstyrke  $128 \text{ MPa}$ ).

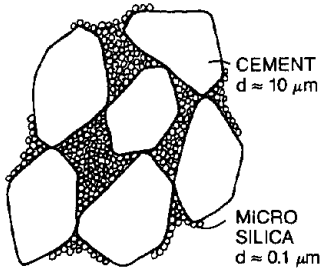


FIG. 10. Bindemidlet i DSP-materialer er dannet fra en struktur opbygget af cement arrangeret i tæt pakning med microsilica anbragt homogent i mellemrummene mellem de tæt pakkede cementpartikler [2].

Med bindemidler af denne type var det nu blevet muligt i industriel skala at fremstille beton med trykstyrke omkring 120-160 MPa med konventionelt grus i simple blødstøbningsprocesser.

De nye materialer benævnedes DSP-materialer ("Densified Cement/Ultra-fine Particle-Based Materials") [2] og markedsføres i dag under varemærket Densit<sup>0</sup>.

#### MODIFICERING AF GRUSET

I konventionel beton opnås ikke de store forbedringer ved at anvende stærkere grus (jvf. v/c-loven). Fra tidligere arbejde med konstruktionsletbeton vidste vi imidlertid, at grusets styrke spiller en væsentlig rolle i beton, hvor gruset ikke er væsentlig stærkere end bindemidlet.

Dette er tilfældet i konventionel konstruktionsletbeton, fordi de lette gruspartikler er svage. Vi har en lignende opførsel i Densit<sup>0</sup> med konventionelt grus, fordi bindemidlet her er meget stærkt.

På samme måde som styrken af konstruktionsletbeton kunne øges markant ved anvendelse af stærkere lette gruspartikler, kan styrken af Densit<sup>0</sup> øges markant ved anvendelse af stærkere sand og sten.

Et vist løft opnåedes med udvalgte naturlige bjergarter (f.eks. Diabas), men de største landvindinger opnåedes med Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-rige, kunstigt fremstillede grusmaterialer, normalt anvendt i den ildfaste industri.

Således opnåedes trykstyrker med brændt bauxit (fra Aalborg Portlands fabrik Dania) på omkring 180-220 MPa for beton og op til 280 MPa for mørtel med partikelstørrelse op til 4 mm (se FIG. 11).

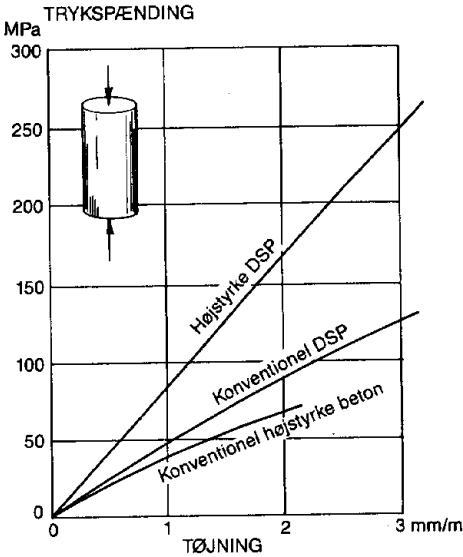


FIG. 11. Opførsel af DSP-materialer og konventionel højstyrkebeton under trykpåvirkning. Højstyrke DSP-materialerne er fremstillet med grus af calcineret bauxit [2].

### STYRKE/SKØRHED

Spørgsmålet var, om de nye stærke materialer også ville kunne anvendes effektivt i bærende konstruktioner. De største problemer hidrører fra, at de stærke bindemidler er ekstremt skøre, og brugt ukritisk kan de give anledning til fatale ødelæggelser som illustreret i FIG. 12, 13 og 14.

Skørhedsproblematikken fremgår af FIG. 15, hvor bæreevne - og opførsel - af geometrisk ligedannede emner er afbildet som en funktion af "skørhedstallet".

I området med små værdier af skørhedstallet (til venstre i FIG. 15) er opførslen sej, bæreevnen er høj, og emnet er ufølsomt overfor mindre revner, skarpe hjørner, inhomogeniteter m.m.

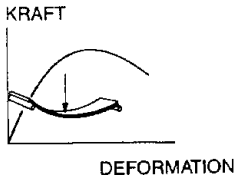


FIG. 12. Store emner udviser langt mere skør opførsel end små emner fremstillet af samme materiale.

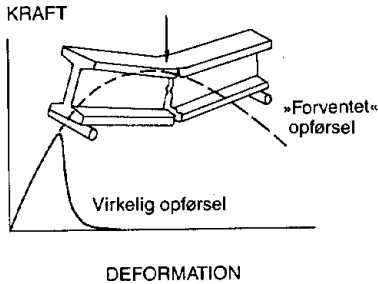


FIG. 13. Overførsel af erfaringer med konventionel jernbeton (A) til emner med højstyrkebeton kan resultere i skøre emner, der flækker langs armeringen (B).

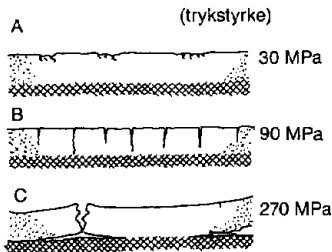
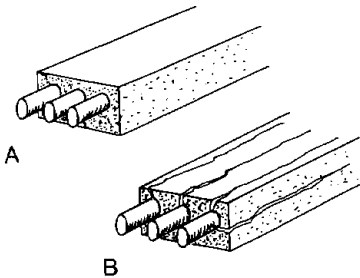


FIG. 14. Stærke belægninger løser slidproblemerne, men kan give anledning til andre skader på grund af øget skørhed.

For store værdier af skørhedstallet er opførslen skør, og bæreevnen, der her er lavere, er meget følsom overfor revner, skarpe hjørner m.m.



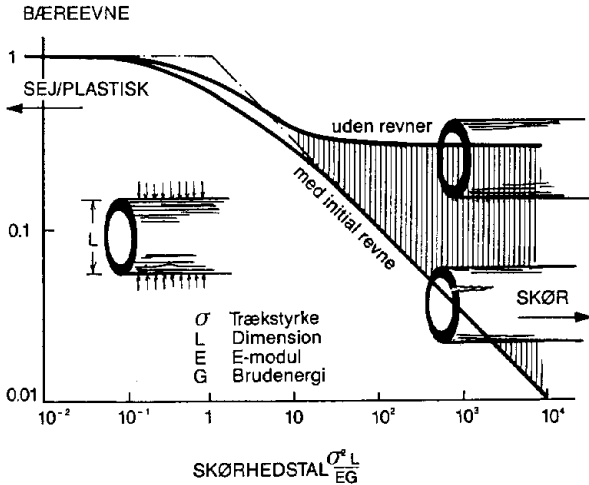


FIG. 15. Opførsel af emner som funktion af skørhedstallet

Vi ønsker, at beton og jernbeton har en vis sejhed, hvilket, set i lys af betragtningsmåden i FIG. 15, betyder en placering rimeligt til venstre på kurven.

Imidlertid befinder vi os ofte med konventionelle betonkonstruktioner i overgangsområdet, illustreret ved diverse revne- og skørhedsproblemer.

Hvis vi nu anvender ultrastærke bindemidler til énsidigt at øge styrken (f.eks. med en faktor 5), øges skørhedstallet drastisk (med en faktor omkring 25, hvis produktet af elasticitetsmodul og brudenergi forbliver uændret).

Heri ligger forklaringen på den øgede skørhed, der ofte observeredes med de nye ultra-stærke bindemidler.

Udtrykket for skørhedstallet

$$\frac{\sigma^2 L}{EG} \text{ eller } \frac{\sigma^2 D}{EG}$$

angiver imidlertid også, hvorledes øget skørhed på grund af øget styrke ( $\sigma$ ) kan modvirkes, nemlig ved at øge stivheden

(elasticitetsmodul E) og/eller brudenergien (G), eller ved at anvende materialet til mindre emner (L) eller indbygge mindre komponenter (D).

Markante forbedringer kan fås ved indbygning af en høj koncentration af større stærke partikler (sand og specielt sten). Herved øges såvel stivhed som brudenergi. Endnu mere markante forbedringer kan opnås ved iblanding af fibre, der især øger brudenergien.

Partikel- og fibermodificering er i vid udstrækning anvendt i emner af Densit<sup>0</sup>, hvor der ofte udover hovedarmering er indbygget 2-3 volumenprocent fibre for at sikre sejhed. Et eksempel er vist i FIG. 16.



FIG. 16. Indløbsskovl til cementmølle. De 5 udskiftelige sektioner er af slidfast Densit<sup>0</sup>.

Normalt udføres konstruktionen helt i støbestål, men på grund af store slidproblemer valgtes Densit<sup>0</sup>-løsningen. Indløbsskovlen har været i drift siden 1982.

Densit<sup>0</sup> 'en, der havde trykstyrke omkring 225 MPa, var bibragt sejhed med omkring 10 vægtprocent stålfibre og hovedarmering.

Vi var klar over skørhedsproblematikken længe før vi blev i stand til at fremstille de stærke materialer og redegjorde for problemerne i publikationerne om Densit<sup>0</sup> [2].

Skørhedsproblematikken var imidlertid så fremmed for mange fagfolk, at vi fandt det ønskeligt at publicere mere om brudmekanik - og bl.a. gøre brugere bekendt med pionerarbejde af Hillerborg og medarbejdere [7] [8] [9] [10].

### COMPACT REINFORCED COMPOSITE (CRC)

Vi havde hidtil primært anvendt de ultra-stærke bindemidler som en styrkemæssig opskalering af konventionel jernbeton - altså, hvor betonen tager tryk og armeringen træk, og hvor betonen revner i træksiden med revner, der passerer hovedarmeringen.

Skørhedsproblemerne forbundet med de højere styrker blev løst tilfredsstillende ved partikel- og specielt fibermodificering. Moderate fibermængder hjalp på revnefordelingen, men ændrede ikke det forhold, at revner initieres ved meget små træktøjninger (omkring 0.2 mm/m).

Sideløbende havde vi arbejdet med reologi for bindemidlerne og bl.a. set, at de havde eller kunne bibringes høj viskositet, og at dette bl.a. muliggjorde indblanding af langt flere fibre end i konventionelle bindemidler.

Dette, kombineret med at de hærdede bindemidler fastholder fibre fantastisk godt, ledte til tanken at prøve at udnytte denne evne til at tilvejebringe ekstrem sejhed.

Et resultat af disse anstrengelser blev skabelsen af en ny slags superstærk og sej jernbeton, benævnt Compact Reinforced Composite (CRC). CRC har styrker (også i træk) omkring 50-70% af konstruktionsståls og udviser revnefri opførsel i træk helt op til hovedarmeringens flydegrænse (omkring 3 mm/m), hvor konventionel beton og højstyrkebeton revner ved træktøjninger på omkring kun 0,1-0,2 mm/m.

Der blev pillet alvorligt ved "naturloven" om at armeret beton revner, når træktøjninger overskrider matricematerialets trækbrudtøjning.

Opførsel af CRC-bjælker under bøjningspåvirkning er vist i FIG. 17.

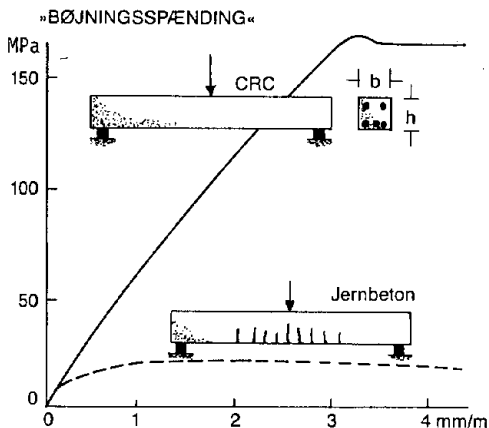


FIG. 17. Opførsel af CRC-bjælke i bøjning.

Bøjningsspændingerne er normaliserede opnået ved at dividere de aktuelle momenter ( $M$ ) med modstandsmomentet ( $\frac{1}{6} b h^2$ )

CRC-bjælken forblev urevnet helt op til flydning. Matricen var en stålfiberarmeret kvartssandsmørtel baseret på cement og microslica med trykstyrke omkring 225 MPa og brudenergi omkring 13000 N/m [11].

CRC er opbygget af en meget stærk og stiv "beton" (mørtel), fortrinsvis Densit<sup>0</sup>, der er bibragt meget stor sejhed gennem armering med en høj volumenkoncentration af meget fine, stærke og stive fibre, og som desuden er armeret med en meget høj koncentration af kraftig hovedarmering.

CRC's hovedvirkemåde er som jernbeton: Armeringen optager hovedparten af trækpåvirkningerne, og "betonen" optager hovedparten af trykpåvirkningerne.

Det særlige er, at den meget seje matrice muliggør udnyttelse af langt mere armering end det er tilfældet i konventionel beton - og er i stand til at gøre dette under bevarelse af stor indre sammenhæng.

CRC har kompositmaterialernes fordele, bl.a. med muligheder for at skræddersy egenskaber - f.eks. at kombinere meget store styrker og stivhed med ekstrem god holdbarhed. CRC åbner en række helt nye muligheder, bl.a. fremstilling af meget store massive høj kvalitets emner (f.eks. store plader med tykkelser over 200-400 mm med mekaniske egenskaber sammenlignelige med konstruktionsstål), hvilket ikke er muligt med stål eller andre eksisterende materialer.

I CRC udnytttes den vigtige erkendelse, at trækbrud i skøre materialer ikke sker uendelig pludseligt, men efter en lille, men meget betydningsfuld deformation i en snæver zone omkring det senere adskillelsesplan (se FIG. 18).

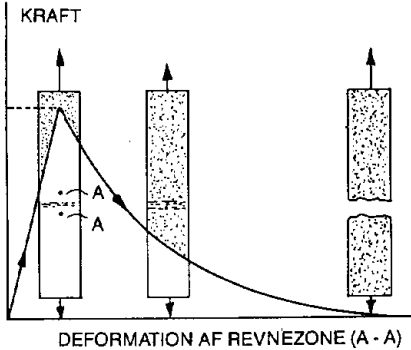


FIG. 18. Trækbrud i skøre materialer er ledsaget af en lille deformation i zonen omkring den senere adskillelsesflade efter at maksimal belastning er nået. Størrelsen af denne "revnezonedeformation" er omkring 20  $\mu\text{m}$  for beton, 5  $\mu\text{m}$  for cementpasta, 1  $\mu\text{m}$  for DSP-pasta og 0,01  $\mu\text{m}$  for glas.

Revnezonedeformationen sker efter, at maximumbelastning er nået under aftagende belastning. Som en konsekvens heraf sker rent trækbrud pludseligt, efter at revnezonedeformation er initieret lokalt. Hvis man imidlertid kunne armere revnezonerne så effektivt med meget fine fibre, at belastningen under revnezonedeformationen i stedet for at aftage ville stige, ville der med stigende belastning dannes nye revnezoner udover over legemet, hvorved tøjningen, før der dannes en egentlig revne, ville øges, d.v.s. en slags deformationshærdning som man kender det for stål.

Dette princip, som man hidtil kun havde kunnet udnytte i tynde, kraftigt fiberarmede specialprodukter, udnytttes i CRC, hvor man med en høj koncentration af fine, stive og stærke fibre sikrer en vis deformationshærdning af matricematerialet og samtidig giver "betonen" generel sejhed.

Den vigtigste mekanisme ved CRC er imidlertid en yderligere markant forøgelse af træktøjningskapaciteten af det seje fiberarmede matricemateriale, hvilket opnås gennem en meget effektiv fixering til en meget tætliggende hovedarmering, hvorved revnezonedeformationerne fordeles ud over legemet, når materialet trækdeformerer tvunget til nøje at følge hovedarmeringens forlængelser (se FIG. 19).

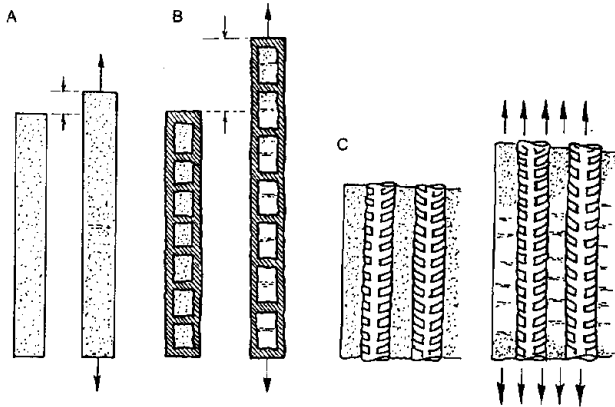


FIG. 19. Bruddeformationen af en keramisk stang (A) øges ved fixering til en stiv ramme, der undergår trækdeformationer, svarende til at der nu skal ske mange revnezonedeformationer (B), før der sker fysisk adskillelse i det keramiske materiale. CRC (C) bygger på en sådan opførsel, idet tætliggende profileret hovedarmering virker som den stive ramme.

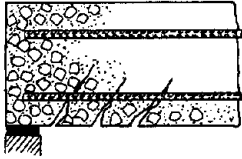
CRC virker statisk, ved at armeringen overfører de væsentligste trækpåvirkninger og betonen tryk - ligesom i jernbeton. Forskellen er, at man nu er blevet i stand til at udnytte langt mere/stærkere armering end med konventionel beton (se FIG. 20).

### PROCESTEKNOLOGI

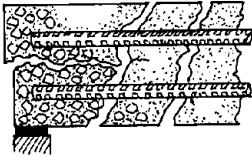
Udvikling af procesteknologi har spillet en helt afgørende rolle for udviklingen af de nye højstyrkematerialer - og for at gøre industriel produktion mulig.

Som et eksempel skal fremhæves nogle procesteknologiske forhold af særlig betydning ved fremstilling af CRC.

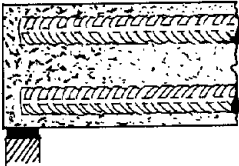
CRC emner - f.eks. 1,1 x 1,1 x 0,12 m plader armeret med 27 vol% hovedarmering og 6 vol% fine fibre - fremstilles ved blødstøbning under vibrering - altså ligesom konventionel jernbeton.



JERNBETON



JERNBETON  
(for meget armering)



CRC

FIG. 20. Opførsel af konventionel jernbeton, jernbeton med for meget armering, og CRC.

På grund af betons ringe trækstyrke og træktøjningsformåen er det kun muligt at udnytte moderate armeringsmængder.

Med de søje, stærke CRC-matrice-materialer er disse restriktioner fjernet [11].

Sammenlignet med konventionel beton er CRC-strukturen imidlertid fantastisk kompleks og helt umuligt at skabe med konventionel teknik:

1. Vand/cement-silica-forholdet er ekstremt lavt (0,18).
2. Indholdet af fine fibre (stålfibre 6x0,15 mm) er 6% efter volumen, hvilket er 2-3 gange højere end det normalt er muligt at inkorporere i konventionel beton.
3. Fibrene inkorporeres ikke i en ren cementpasta, som det er tilfældet for de fleste cementprodukter med høje fiberindhold som f.eks. Eternit, men i en grovmørtel med en høj koncentration af sand med partikelstørrelse mellem 2 og 4 mm.
4. Det indre rum mellem den meget tætte armering består af smalle "kanaler" af uregelmæssig form, der er meget vanskelige at udfylde - selv med konventionel beton (mørtel) uden fibre.

På trods heraf fremstilles meget tætte og meget homogene CRC-strukturer (indblandet luft under 1%), hvilket sikres ved bl.a.:

1. Meget effektiv elimination af låsende overfladekræfter ved udvælgelse af særligt egnede kombinationer af cement-microsilica og dispergeringsmiddel.
2. Sikring af sej væskeagtig (viskos) flydeopførsel under blanding og udstøbning ved, udover elimination af overfladekræfter, at anvende en meget høj koncentration af microsilica, der "holder på vandet".
3. Yderligere at fremme flydningen ved højfrekvens vibrering - hvor impulstransporten ud i den trægtflydende masse bliver etableret ved at transmittere påvirkningerne fra ydre vibratorkilder gennem den tætte hovedarmering (i modstrid med konventionel praksis, hvor dette fører til separation).
4. Forlænget procestid - specielt ved blanding - til sikring af effektiv partikelvædning og opnåelse af en høj grad af mikro-homogenitet (sikring af homogen fordeling af microsilica mellem de tæt pakkede cementpartikler).

#### KONKLUSION

Med de seneste års udvikling af teknologi til fremstilling af ultrastærk beton og til at tilvejebringe sejhed er der skabt baggrund for fremstilling af nye facinerende, cementbaserede konstruktioner og emner af hidtil uhørt kvalitet.

Teknologien vil imidlertid også kunne få stor betydning for mere konventionel beton, på samme måde som teknologi, udviklet til anvendelse i rummet, har fået nyttevirkning i vor hverdag.



REFERENCER

- [1] Efsen, A., "Elementær jernbeton", København, Jul. Gjellerups Forlag, 1948
- [2] Bache, H. H., "Densified Cement/Ultrafine Particle-Based Materials", paper presented at the Second International Conference on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada, June 10-12, 1981
- [3] Bache, H. H., "Model for strength of brittle materials built up of particles joined at points of contact", Journal of the American Ceramic Society, 53 (1970)12, p. 654/658
- [4] Kingery, W. D., "Introduction to ceramics", New York, John Wiley & Sons, 1967
- [5] Idorn, G. M. og Z. Fördös, "Cement-polymer materials", Principal Paper to the VI International Congress on the Chemistry of Cement, Section 3, Topic 3-3, Moskva, USSR, 23-27 september 1974
- [6] Bache, H. H., "The processing of fresh concrete. Physical Survey", Fresh Concrete, RILEM Seminar Proceedings, Vol. 3, 1973
- [7] Hillerborg, A., "Materialbrott", University of Lund, Division of Building Materials, Report TVBM-3004, 1977
- [8] Hillerborg, A., "A model for fracture analysis", University of Lund, Division of Building Materials, Report TVBM-3005, 1978
- [9] Modéer, M., "A fracture mechanics approach to failure analysis of concrete materials", University of Lund, Division of Building Materials, Report TVBM-3001, 1979

- [10] Petersson, P.-E., "Crack growth and development of fracture zones in plain concrete and similar materials, Lund Institute of Technology, Division of Building Materials, 1981
- [11] Bache, H. H., "Compact reinforced composite. Basic principles", AALBORG PORTLAND, Cement- og Betonlaboratoriet, CBL Rapport nr. 41, 1987
- [12] Hattori, K., "Experiences with MIGHTY Superplasticizer in Japan in "Malhotra, V. M., E. E. Berry, and T. A. Wheat (eds.), Superplasticizers in Concrete". Proc. of an Int. Symp. held in Ottawa 1978, p. 49/86

HVAD LÆRTE VI ?

Professor, civilingeniør Johs. F. Munch-Petersen

Instituttet for Husbygning  
Danmarks tekniske Højskole.

September 1987.

<u>Index:</u>	<u>Side</u>
Forudsætningen .....	76
Ønsketænkningen .....	78
Betonelementfabrikken .....	79
Kontrollen .....	80
Byggeteknologien .....	80
Betonteknologien .....	81
Og så alt det andet .....	82

### HVAD LÆRTE VI ?

under udviklingen af boligbyggeri med præfabrikeret beton 1955-1970.

Oprindeligt skulle jeg have talt om "uheld", og mange ville have forventet den sædvanlige dybdeborende redegørelse for betonskader. Den er fremlagt og fremlagt langt bedre, end jeg ville kunne.

I stedet besluttede vi under planlægningen af de tre indlæg, at jeg skulle tale om, HVAD VI LÆRTE. Det dækker ikke blot vore fejltagelser, men også en række af de følgeproblemer, der opstod. Det dækker de skader, vi har erkendt. Vi ved jo ikke, om der er flere.

Emnet passer mig udmærket. Mine første 20 år som ingeniør sad jeg hos Malmstrøm og var centralt placeret i udviklingen. I dag underviser jeg i ideernes resultat - og i byggeskader.

Det hele startede med boligbyggeriet midt i 50'erne. Vi havde et helt uacceptabelt stort behov for boliger, som følge af krigen, familiemønstrets udvikling (selv enlige, studerende og pensionister ville have egen bolig !), og vel også som følge af den begyndende velstandsstigning.

Politikerne var enige med befolkningen, fagforbund og arbejdsgivere, boligministeriet, eksperter og idealister. Alle var enige om, at boligproblemet skulle løses, og landet var præget af optimisme og teknologibegejstring.

Der skulle bygges flere, bedre og billigere boliger. Der blev vedtaget love, der dels skulle sikre en omfattende målkoordinering ("modulordningen") og ensretning af bygningsbestemmelserne, dels skulle sikre, at de vovehalse, der satsede på ny teknologi, fik et rimeligt planlægnings-, udviklings- og afskrivningsgrundlag i form af byggetilladelser også til større, sammenhængende kontrakter.

Vi slap lykkeligt for en egentlig statsinvestering i et nyt produktionsapparat, og dermed for den fastlåsning af begynderdejle, der prægede nabolandene øst og syd for os.

Vi kom foran og fik et eksportgrundlag. Det var filosoffer og iderige personer, der startede udviklingen, fx. i DIF's Udvalg til Rationalisering af Byggeriet.

Der var ingen statssubsidier. Man gjorde det snedige, principielt at ligestille traditionelle og nye byggemetoder - men tilføjede i montagecirkulæret, at der skulle dokumenteres klare besparelser af byggeplads-arbejdskraft. Det kunne kun montagebyggeriet klare. 40% af det normale arbejdskraftforbrug.

Vi lærte meget i de 15 år, 1955-1970, hvor den egentlige udvikling fandt sted.

Vi lærte meget på alle beslutnings- og udførelsesniveauer. Så lad mig begynde fra toppen:

#### FORUDSÆTNINGEN.

Forudsætningen var, at Danmark skulle blive et industriland med meget højere levestandard.

Det fik vi.

Men resten af forudsætningerne for prognoserne smuldrede, og forudsætningernes indhold blev omdefinert.

Vi lærte, at man ikke skal tro, at prognoser er bedre end vejrudsigten for næste måned. Der er megen fornuft bag den, men det regner alligevel på festdagen.

Vi besluttede at bygge mange flere af de boliger, vi havde mangel på: Den 4-etagers boligblok med forudsigelige lejlig-hedsplaner.

Det ville de kommende års rige befolkning have råd til. Og her fejlede vi fra begyndelsen:

Rige folk vil have villaer, individuelle boliger, ikke masser af boligkarreer. De vil have mursten og stokroser, ikke betonslum.

Rige folk vil være ejere, ikke lejere.

Og - ubegribeligt dengang - det nyligt rige folk vil også være kollektive. Så i dag bygger vi et kollektivt, individualistisk villasurrogat, kaldet tæt-lavt bolig-byggeri.

Er det kun 80'ernes modelune ? Linealbørge udnævnes idag til 60'ernes store bastian. Men dengang var han in, og Høje Glad-saxe verdens ottende vidunder.

Det er værd at notere, at de fire "montagekvotebyggerier": Ballerupplanen, Gladsaxeplanen, Sydjyllandsplanen og Alberts-lund gårdhusene omfattede tre byggerier med de kendte bolig-blokke i den kendte bebyggelsesplan (+ 5 højhuse), men også Danmarks første, større tæt-lave bebyggelse. Marius Kjeldsen må have haft en krystalkugle i sit kontor.

Der kan sikkert siges meget ondt om datidens byggeri, og er da også blevet det, af arkitekter, psykologer m.v. Som inge-niør vil jeg nøjes med at konstatere, at vi fik bygget mange boliger, at der er udbredt tilfredshed blandt lejerne, og at vi i Danmark aldrig nåede til ligefrem at måtte nedrive de nye boliger igen, efter kun 10 år.

Man kan iøvrigt konstatere, at alle blev så rige, at ingen havde råd til at få hjælp til noget som helst. Dagens do-it-yourself-millionærer lærte meget af montagebyggeriet.

Vi besluttede, at da der var en håbløs mangel på faglærte, måtte vi benytte ufaglærte og maskiner til at bygge med, lige nu. Alt skulle være industri.

Pludselig havde vi ikke rigtigt råd, og så fik vi arbejdsløshed. At den ikke blev (og er) endnu større, skyldes de omfattende om- og tilbygninger, renoveringer, der har fundet sted siden anden verdenskrig.

#### ØNSKETÆNKNINGEN.

Målet var, at nå op fra 50'ernes 20.000 boliger/år til 50.000 boliger/år i 1970, og antageligt 80.000 pr. år i 80'erne - så hele boligbestanden var fornyet i dag.

Af vore 2 millioner boliger er den ene million da også nye boliger idag.

Vi nåede op på 55.000 boliger/år og er nu nede på 30.000 - eller er vi ? Ud over nybyggeri udfører vi jo også masser af renovering til nogenlunde nybyggerpriser (eller lavere i dårlig kvalitet). Det er dyrt, men godt for arbejdsløsheden.

Målet var mange boligblokke, men typehusbyggeriet og andet let byggeri voksede også, udnyttende montagebyggeriets erfaringer og produkter.

Målet var også større, bedre og billigere lejligheder.

Det mål blev også nået, men der var kedelige bieffekter.



Godt nok faldt byggeprisen pr. m<sup>2</sup> i forhold til pristal og især lønindex.

Men dobbelt så mange, næsten dobbelt så store og væsentligt bedre lejligheder gjorde et stort indhug i vort kapitalapparat. Det skaber problemer, når man pludselig firdobler antallet af nybyggede m<sup>2</sup>.

Så renteniveauet gik af denne og andre årsager så drastisk i vejret, at brugeren af boligerne ikke kunne se, at boligerne var blevet billigere, tværtimod. Han kunne ikke trøstes med, at det ville være blevet endnu dyrere, hvis vi ikke havde rationaliseret byggeriet.

Så fik vi et kakkellovns-cirkulære med mindre og skrabede lejligheder.

Vi fik et løbende politisk slagsmål om nye omfordelingsregler mellem ejere og lejere. Kun meget få i dette land betaler den faktiske husleje, - eller rettere, vi betaler alle det meste via skatte-, fradrag-, tilskuds- og rentesikringsjunglen.

Generelt bor danskeren meget bedre, men der er skabt et proletariat af det mindretal, der stadig må bo i den ældste boligmasse.

#### BETONELEMENTFABRIKKEN.

I udviklingsfasen havde alle fabrikker travlt. De arbejdede ofte i 2- eller 3-holds skift. De producerede til store byggerier, typisk 2.000 lejligheder i 4-etagers, modulkoordinerede, ensartede blokke med 5-10 lejlighedstyper.

I dag er markedet en trediedel, og ordrene omfatter måske 50 tæt-lave, varierede boliger, fordelt på 50 flexible boligtyper.

Stort set intet element er magen til noget andet. Det var meget, at fabrikkerne nåede at blive så dygtige til at styre varianter, at de overlevede den omvæltning.

#### KONTROLLEN.

De store byggerier i udviklingsperioden havde et veludviklet kontrolapparat. Når byggerierne var store og ensartede, og honorarerne ikke skulle presses i bund, var der råd til og mulighed for at føre megen kontrol. 2-4 lejligheder om dagen var typisk for et boligbyggeri. Der var mindst tre heltidsansatte - en eller to arkitekter og to-tre ingeniører, der førte tilsyn på bygherrens vegne. Der var ugentlige kontrolbesøg på fabrikkerne.

Den ensartede produktion gav gode muligheder for at styre resultatet. Når flere tusinde dæk var så ens, at de kunne benytte samme, prævejste net, var det let at indbygge små "knaster" osv., der "fastlåste" armeringen i korrekt position. Betonrecepterne var ligeledes til at holde styr på.

Den hurtige udvikling mod større fleksibilitet og efterhånden også færre boliger pr. projekt, og den pressede økonomi hos rådgivere og entreprenører, forringede styrings- og kontrolmulighederne.

Det er muligt, at 60'ernes forcerede byggeri hist og her gav anledning til sjuskeri. Men dagens individualiserede elementproduktion må frygtes at have medført, at vi i endnu en række år vil opdage nye skader.

Dette uanset, at alle, efter udviklingsfasen er blevet dygtige og har fået megen kvalitetsbevidsthed ind i rygmarven.

#### BYGGETEKNOLOGIEN.

Vi satsede på en ny byggeteknologi. Det blev beton, som et naturligt, dansk materiale - uden teglets krav om stor arbejdsindsats pr. m<sup>2</sup>.

Vi fik en betonelementfabrik-eksport. Vi fik imidlertid også sideløbende hermed en generel komponent-industri, omfattende stort set alle bygningsdele, til brug i såvel det tunge betonbyggeri som i de lette byggesystemer, der blev udviklet sideløbende med betonbyggeriet.

Vi fik en GENEREL STYRINGSTEKNOLOGI og begyndte at opfatte projektering, udførelse og styring af tid og kvalitet som helhed.

Denne "totalviden" er en internationalt salgbar vare, uanset land, klima og byggemateriale.

#### BETONTEKNOLOGIEN.

Der kan siges meget ondt om beton, men aldrig nok.

Lad det fare, dette er ikke et indlæg om tyndsliberi. Vi har lært meget (måttet alt for meget).

Malmstrøm, Larsen & Nielsen - og snart efter Højgaard & Schultz, Jespersen & Søn og alle de andre initiativtagere var ikke ansvarsløse.

Beton kan holde evigt, var et udbredt, uimodsagt slogan dengang.

Der blev lavet mange forsøg med Ervin Poulsen som konsulent. BKF-Centralen blev født af L&N's og Malmstrøms behov for fuldskalaprøvning.

Der var bare meget, vi ikke vidste nok om.

Alkalikisel og 20 mm dæklag talte vi meget om, og gjorde noget ved - selv om der har vist sig svipsere fra tiden med fuldt tryk på produktionen - og i elementer fra små serier-/små byggerier med begrænset tilsyn.

Vi fik styr på "betonkogerne", som betonelementfabrikkerne blev kaldt. Dobbelt cementmængde plus 90°s varme og så 4 timer senere ud i 10°s frost på lagerpladsen gav tilsammen de styrketillæg og -fradrag, der førte til en i reglen tilfredsstillende styrke, i hvert fald de første par måneder.

Karbonatisering var dengang blot en kuriositet, der blev nævnt en passant uden advarsler i datidens "betonbibel", Neville, Properties of Concrete, helt op til revisionen i 80'erne.

Dengang var det også en dårlig vicevært, der ikke brugte i spandevs af salt på sneklædte altangange.

Lad os forlade den lange, kendte liste over såkaldte betonsygdomme.

#### OG SÅ ALT DET ANDET.

En række gasekspllosioner, med Ronan Point som den mest markante, lærte os, at præfabrikerede bygninger bør - og kan - sikres mod progressiv kollaps, i hvert fald høje bygninger.

En række jordskælv viste, at præfabrikerede bygninger med gode samlinger mellem elementerne kan modstå jordskælv. Netop de mange samlinger kan optage ganske store energier med minimale skader. Det kunne vi have lært af japanernes 3000-årige trætempler, søjler, bjælker, fordelerled, men ingen skrå stænger. Tilmed med et meget tungt tag af ler og tegl.

Vi har dog stadig meget at lære om dynamiske påvirkninger af bygninger. Den gamle statik er ikke god nok, partialkoefficienter eller ej.

Jeg har allerede tilkendegivet min ingeniørprægede opfattelse af arkitektur- og brugerkritikken, og skal overlade yderligere kommentarer til arkitekt, m.a.a. Knud Friis.

Dog kan jeg ikke afholde mig fra en kommentar til bygningers patinering. Det moderne bymiljø patinerer selv teglfacader. Og patinering kan også være et pænt ord for tilsvining. Betonoverfladen med frilagte sten synes at klare sig bedst.

Kraftig profilering - og betænsom profilering, der afleder vandet korrekt, hurtigt og helt væk, er iøvrigt ikke kun et spørgsmål om æstetik/patinering/tilsvining, det har også noget med betonskader at gøre. De fleste fremmes - eller i extreme tilfælde hæmmes - af vand. Pænt, grønt mos er en advarsel til husets ejer om ikke at vente til revner, afskalninger og smukt rustrøde jern patinerer facaden. Venter han, slår væmmelige sten små uskyldige børn ihjel.

Betonoverflader har iøvrigt en kedelig evne til at markere, hvilke materialer der iøvrigt har været anvendt ovenover i bygningen. Hverken grønt fra kobbertage, brunt fra Cortenplader eller dybrødt fra nytårsfestens rødvin er ønskelig patinering.

Her tager jeg måske fejl. Der er mange, der mener, grafitti er kunst.

Det er vanskeligt at rense betonoverflader. De kan ikke sendes til kemisk rensning. Det må ske på stedet - og hvad sker der så med overfladerne nedenfor ?

Jeg kunne nævne mange flere skader, men skal slutte med begyndelsen: Beton blev i sin tid valgt som Danmarks naturlige byggemateriale. Grusgravene er det synlige bevis overalt i landet. Skal de forblive rædsler ? Kan de omdannes til smukke eller interessante fritidsområder ? Hertil kommer, at når vore betonhuse ikke kan stå evigt, så må de jo nedrives en skønne dag. Hvordan vi skal nedrive og borttransportere alt det tunge skrammel, ved jeg ikke. Det er en ny opgave for initiativrige ingeniører. Måske kunne vi fylde elementerne i grusgravene ? Af jord er du kommet...

Sommetider ærgrer jeg mig over, at det jeg med begejstring var med til i 60'erne, nu afslører så grimme følgevirkninger. Det var ikke meningen at skabe et nyt behov, specialister i betonvedligeholdelse.

Verden har vist altid været sådan: Alt går så galt, som det kan. Værre end den sorteste pessimist kunne forudse. Det tager længere tid end nogen kunne ane, at lære at benytte en ny mulighed.

Men i reglen glæder jeg mig over den udvikling, vi satte i gang. Nu har vi lært at benytte beton, og beton er stadig et naturligt byggemateriale, der ikke kan erstattes. Vi løste et boligproblem, vi skabte en ny industri, så stærk at den gennem sin export har gjort byggeriet til et valutaskabende erhverv.

Det er ikke mere præfabrikeret beton, det er en helhed af projektering, udførelse og kvalitet, kvalitet på brugerens betingelser, der er blevet sagen.

Birch & Krogboe  
Teknikerbyen 34  
2830 Virum  
02 85 85 85

UDVIKLINGSTENDENSER

af

Jens Erik Staalby

September 1987.

<u>Index:</u>	<u>Side</u>
Hvorledes kan det, vi lærte, bruges til at fremme af byggeriets udvikling .....	87
CTS-anlæggene .....	90
Den produktionsteknologiske "revolution" og den informationsteknologiske "revolution" .....	91



### UDVIKLINGSTENDENSER

Hvorledes kan det, vi lærte, bruges til fremme af byggeriets udvikling ?

Hvad lærte vi under byggeriets industrialisering ?

- Vi lærte at planlægge produktionsrytmer.
- Vi lærte at tænke i cykliske gentagelser.
- Vi lærte at producere byggekomponenter industrielt i stedet for som håndværk.
- Vi lærte at standardisere materialekvaliteter og komponentkvaliteter.

Alle disse ting lærte vi meget tidligt under byggeriets industrialisering.

Senere lærte vi nuancerne:

- Hvis produktionsrytmerne kun kan fungere i meget store boligplaner,
- hvis de cykliske gentagelser bliver til gentagelser af hele boligblokke, bliver til gentagelse af ens eller næsten ens lejligheder i stor skala,
- da fører dette til umenneskelig monotoni.

Endnu senere lærte vi materialeteknologiens begrænsninger, da teknologien for meget hurtigt masseproduktion af byggekomponenter af træ og af beton førte nogle højst utilsigtede, nogle højst uventede holdbarhedsproblemer med sig.

Og vi lærte også, at nye byggeskikke (f.eks. de flade tage, de højisolerede ydervægge, de tætte bygninger og de nye materialers organiske opløsningsmidler) medførte helt utilsigtede bygningsskader, helt uvante, fysiske ubehag hos brugerne.

Alt dette påførte bygningsejere og -brugere uventede udgifter, uventede problemer.

Men det gav også en langt dybere indsigt i det industrialiserede byggeris bygningsfysiske love.

Det er en viden, der blev købt utroligt dyrt, når man ser på de udgifter, der nu belaster de hårdest ramte byggerier. Men - globalt set, - set i det totale samfundsregnskab, - så var udgiften ikke stor.

Kun den, der intet gør, gør heller ingen fejl !

Jeg har selv gennem et konkret eksportprojekt i Østeuropa set, hvorledes frygten for at gøre fejl lammer al handlekraft, frustrerer den menneskelige kreativitet.

Det er vel ikke dét, vi ønsker ?

Tilsyneladende havde det pågældende land ikke en gang færre byggefejl, end vi har, måske tværtimod.

Vi har i Danmark et helt unikt sammenspil mellem 1) staten som igangsætter, 2) det sociale boligbyggeris organer med sin ansvarsfølelse såvel for den enkelte beboer som for fællesskabet, og 3) den private byggesektor: arkitekter, rådgivende ingeniører, entreprenører og leverandører.

Dette sammenspil skabte det industrialiserede danske boligbyggeri, og dette sammenspil har formået at håndtere byggeskaderne uhyre fornuftigt.

Vore domstole har i de tilfælde, hvor der var tvivl om ansvaret, i det store og hele truffet fornuftige og ræsonable afgørelser under respekt for den forholdsvis begrænsede viden, der var til stede på udførelsestidspunktet.

Vore politikere har erkendt fællesskabets medansvar i en afbødning af byggeskadernes værste virkninger og har etableret byggeskadefonden, som sikrer de, der rammes af utilsigtede skader mod de værste, økonomiske konsekvenser.

Vi har for nyligt fra Boligministeriet/Byggestyrelsen fået en kvalitetssikringsreform, der repræsenterer et markant spring fremad i byggeriets industrialisering.

Der blev for ganske nyligt her i "Ingeniørhuset" afholdt en idékonference om kvaliteten af den danske industri. Det stod efter denne konference helt klart, at de kvalitetskrav der nu fra det offentliges side stilles til det statslige og det støttede byggeri, - kvalitetskrav, der vil få en ganske betydelig afsmittende effekt på alt andet byggeri, - de krav vil bringe dansk byggeindustri helt frem i spidsen af dansk industri i det hele taget, når det gælder dokumentation af kvaliteten af ikke blot byggekomponenter, men også af byggeindustriens færdige produkt, bygningerne.

Dansk byggeri står derved meget velforberedt til at gå ind i det nye europæiske system med certificerings-organisationer, der kan "blå-stemple" dansk byggeri i hele EF's nye, indre marked fra 1992.

Endvidere har vort stærkt øgede materialteknologiske kendskab og vort stærkt øgede kendskab til bygningsfysikkens love sat os i gang med en nyudvikling, hvor vi atter en gang kan blive førende internationalt:

- de "intelligente huse", eller - som de siger i England:  
"smart buildings" !

Denne udvikling startede allerede omkring 1982 med fremkomsten af CTS-anlæggene.

(C.T.S. = Central Tilstandsovervågning og -Styring).

CTS-anlæggene fik hurtigt en forholdsvis stor udbredelse - til overvågning og styring af de tekniske installationers drifttilstand.

Siden da er udviklingen gået meget hurtigt på dette felt:

1. Dels lærte vi hurtigt, at CTS-anlæggene - ligesom EDB-anlæggene - i sig selv ingen problemer løser. De løser kun de opgaver, de bliver stillet.

Mange ejendomsadministratorer så sig derfor pludselig stillet over for spørgsmålet om, hvilke oplysninger, hvilke data, de egentlig havde brug for.

2. Dels lærte vi, at hvis CTS-anlægget skal udnyttes optimalt, så skal den reelle overvågnings- og styringsfunktion uddelegeres mest muligt. Det nytter ikke, at den tekniske overkommando samler alverdens tal, hvis det er ude i den enkelte ejendom, at udgifterne formøbles. Så er det langt bedre at give den person, der i det daglige har ansvaret for ejendommens drift, de bedst mulige, de mest overskuelige data at reagere på.

CTS-anlægget blev derved et instrument i driftpersonalets tjeneste. Måske bliver det en dag et redskab i beboerdemokratiets tjeneste.

3. Dels opstod der også meget snart et behov for også at kunne overvåge bygningskonstruktionernes tilstand: fundamentterne eventuelle differenssætninger, altanarmeringens eventuelle korrosion, de flade tages eventuelle

fugt-ophobning, etc.). Dette ledte til udvikling af nye typer sensorer ("følere") og til nye metoder for reference-måling.

Vi står endnu ved begyndelsen af denne udvikling.

Men ligesom kontor-automationen tog et opsving, de færreste havde forestillet sig, på samme måde vil den automatiske overvågning og styring af bygningsdele tage et omfang, kun få i dag forestiller sig.

Vi står her over for byggeriets "2. revolution".

Efter den produktionsteknologiske "revolution" kommer nu den informationsteknologiske "revolution".

Og det kommer til at gå hurtigt:

Dels har byggeteknikerne lært så meget af de forløbne 25 - 30 års industrialisering af byggeriet, at man ved, hvad det er for funktioner, hvad det er for egenskaber, der skal overvåges og styres.

Dels er de professionelle bygningsejere gennem de mange skader blevet opmærksomme på behovet for en løbende vedligeholdsfunktion og på behovet for en løbende overvågning.

Når denne overvågning og styring fremtidigt bliver koblet sammen med den økonomiske planlægning, vil der opstå helt nye planlægnings- og styringsværktøjer.

- \* Værktøjer for den overordnede ledelse
- \* Værktøjer for drift-ledelsen
- \* Værktøjer for drift-personalet.

I takt med denne udvikling vil der ske det, at der vil blive stillet krav om fastholdelse af data fra produktionen til brug i driften.

I dag mistes byggeriets data fra det ene led til det andet. Arkitekterne og de rådgivende ingeniører udfører hver deres tegningssæt og beskrivelsessæt og beholder dem selv.

Entreprenørerne og leverandørerne udfører sine tegningssæt, og beholder dem.

Bygherren har normalt intet, eller kun et uoverskueligt udvalg af tegninger i en eller anden tilfældig detaljeringsgrad.

Kvalitetssikringsreformens krav om driftplaner er et lille skridt på vejen. Men først den dag, hvor arkitektens og den rådgivende ingeniørs data uændrede videreføres til entreprenøren, der igen - uændret - viderefører dem til driftherren - først da har vi givet driftherren den komplette kontrol over sit eget bygværk.

Ved implementeringen af hele denne data-indsamling og -opbevaring vil de projekteringstekniske data-anlæg komme til at spille en meget stor rolle. Dette kommer ikke mindst til at gælde for CAD-anlæggene.

Groft sagt bruges disse anlæg i dag stort set som avancerede tegne- og regnemaskiner. CAD-anlæggene vil imidlertid få deres helt store betydning - ligesom EDB-anlæggene - når de kommer til at opbevare og hurtigt genfinde data for opdatering. Dette er netop, hvad der sker i drift- og vedligeholdet.

Hvor der i dag er tale om en diskontinuert data-strøm fra de enkelte projekterende - via leverandører og entreprenører - til bygherren (hvis dataene nogen sinde kommer så langt - så vil der i fremtiden blive tale om en helt anderledes kontinueret datastrøm fra de første "skitser" til det endelige bygværks drifttilstand.

Går vi til selve udseendet af fremtidens byggeri, så vil dette nok også skifte karakter, omend "revolutionen" her er af langt mere forudsigelig karakter:

Boligministeriet/Byggestyrelsen afholdt for få år siden en konkurrence om fremtidens etage-boligbyggeri.

Konkurrencens resultat var bemærkelsesværdigt derved, at alle de seks præmierede forslag pegede på søjle/plade-konstruktionen som fremtidens konstruktionsform for etageboligbyggeriet.

Desværre afslørede konkurrencen flere problemer ved denne konstruktionsform, end den løste.

Og desværre er omstændighederne for videreudviklingen af disse avancerede konstruktionstekniske eksperimenter særdeles ugunstig:

Hvor de bærende betonelementvægge og de enkeltspændte betonelementdæk samt sandwich-facaderne i 1960'erne havde bolig-"planer", der hver var på mange hundrede lejligheder, ofte tusinder af lejligheder at "udvikle sig på", så er vilkårene for konstruktionsteknisk udvikling i dag så barske, at et forsøgsbyggeri på 50 lejligheder anses for et "stort" byggeri.

Det er jo klart, at ad den vej vil det tage alt for lang tid at udvikle noget rigtigt nyt.

Det er således ikke inden for det konstruktionstekniske område, at udviklingen af dansk byggeri skal forventes, men derimod inden for det informationsteknologiske område.

Men det skal ikke få selv os inkarnerede "beton-fans" til at synke hen i fortvivlelse.

Jeg tror tværtimod, at fremtiden bliver umådelig spændende. Mindst lige så spændende, som ved byggeriets "1. revolution" i begyndelsen af 1960'erne.

Hvor denne "1. revolution" bragte byggeriets parter meget tæt sammen: arkitekter, rådgivende ingeniører, entreprenører og producenter, og stillede disse helt nye, meget udviklende udfordringer, så vil "den 2. revolution" måske bringe parterne endnu tættere sammen, fordi de nu bliver bundet sammen af elektroniske netværk, der bevirker, at grænserne mellem "dit" og "mit" bliver endnu vanskeligere at definere.

Ligesom byggeindustriens "1. revolution" bragte os det helt nye begreb "totalentreprise", således vil også "den 2. revolution" bringe os helt nye strukturer for samarbejde.

Helt nye roller vil opstå, samtidigt med at kravene til beherskelse af de elementære grund-discipliner vil blive skærpet.

Det gennemgående tema, økonomien, vil blive udviklet til, at begrebet TOTALØKONOMI bliver ligeså selvfølgelig som "drift-planer" er i dag.

Dette vil medføre, at vi vil stille krav om dygtigere arkitekter, vil stille krav om dygtigere ingeniører, dygtigere tilsynsførende, dygtigere leverandører og entreprenører, men ikke mindst: - meget dygtigere ejendomsadministratorer, meget dygtigere ejendomsinvestorer.



Det kan derfor meget vel tænkes, at byggeriets fremtid især vil tilhøre de dygtige investorer, de dygtige administratører, der ved at gøre brug af den uhyre store datamængde, der fremover vil blive stillet til rådighed, til at træffe de optimale, totaløkonomiske beslutninger.

Den rolle, betonteknologien vil spille her, vil være minimal. Men omvendt vil betonteknologens nylærte viden med hensyn til kærlig omsorg for sit materiale ved produktionsforberedelsen, ved selve produktionen og ved den efterfølgende brug, måske sætte netop ham (eller hende !) i stand til - bedre end så mange andre - og tidligere end så mange andre, - at forvalte den nye data-krævende, den nye informationskrævende, den nye totaløkonomi-krævende fremtid.



## DBF-publ.

" 4:77	"The Role of Ready mixed Concrete in constr.indust"	Kr. 15,-
" 6:77	"Seminar om BRUDMEKANIK" Afh. 29.sept. 1977	" 60,-
" 1:78	"Kontroljournaler" Blanketter kl. I&II/DS 411 ('73)	" 30,-
" 2:78	"Flydebeton" af B. Hysten og H.H. Bache	" 20,-
" 3:78	"Dansk Betondag 1978" Samtlige foredrag	" 20,-
" 4:78	"Prøvningsmetoder for beton" Møde 1.3.78	" 40,-
" 5:78	"Beton i svømmebade" (Anders Nielsen&Sv.E.Petersen)	" 30,-
" 6:79	"Betonuddannelserne i Danmark" (C de Fontenay)	Gratis
" 7:79	"Dansk Betondag 1979" Hovedparten af indlæggene	Kr. 55,-
" 8:79	"Nedbrydn.af beton & svingn.påvirkn.af bygværker"	" 35,-
" 9:80	"Farø broerne" Møde 3.okt. 1979	" 45,-
" 11:81	"Brandpåvirkede betonkonstruktioner" Møde 21.1.81	" 35,-
" 12:81	"Tilsætningsstoffer til beton" Datablad II.udg.81	" 30,-
" 14:81	"Luftindblanding i beton" Debatmøde 26.11.1980	" 25,-
" 15:82	"Plastificering af beton" Møde 30.9.81	" 35,-
" 16:82	"Dansk Betondag 1982" Hovedparten af indlæggene	" 35,-
" 17:83	"Holdbare svømmebassiner" (Sv. E. Petersen)	" 45,-
" 18:83	"Dansk Betondag 1983"	" 70,-
" 19:83	"Proportionering af holdbar beton"	" 60,-
" 20:84	"Demolering og genbrug af beton"	" 45,-
" 21:84	"Dansk Betondag 1984"	" 45,-
" 22:85	"Beton og frost" Nordisk Workshop okt. 1984	" 95,-
" 23:85	"Dansk Betondag 1985" Hovedparten af indlæggene	" 50,-
" 24:85	"Betonelementer - Europæisk udvikl" Møde 18.10.85	" 60,-
" 25:85	"In-situ ikke-destruktiv prøvning" Møde 6.11.1985	" 55,-
" 26:86	"Dansk Betondag 1986"	" 50,-
" 27:86	"Chlorider i armeret beton" Møde 11.12.86	" 55,-
" 28:86	"Luftporestruktur" Møde 22.1.86	" 70,-
" 29:87	"Dårlig beton - hvad nu?" Møde 18+25.3.87	" 70,-
" 30:87	"Store bro- og tunnelprojekter" Møde 26.11.86	" 60,-

ISSN 0106-0406

ISBN 87-87823-15-2

TEKNISK FORLAG A/S - KØBENHAVN