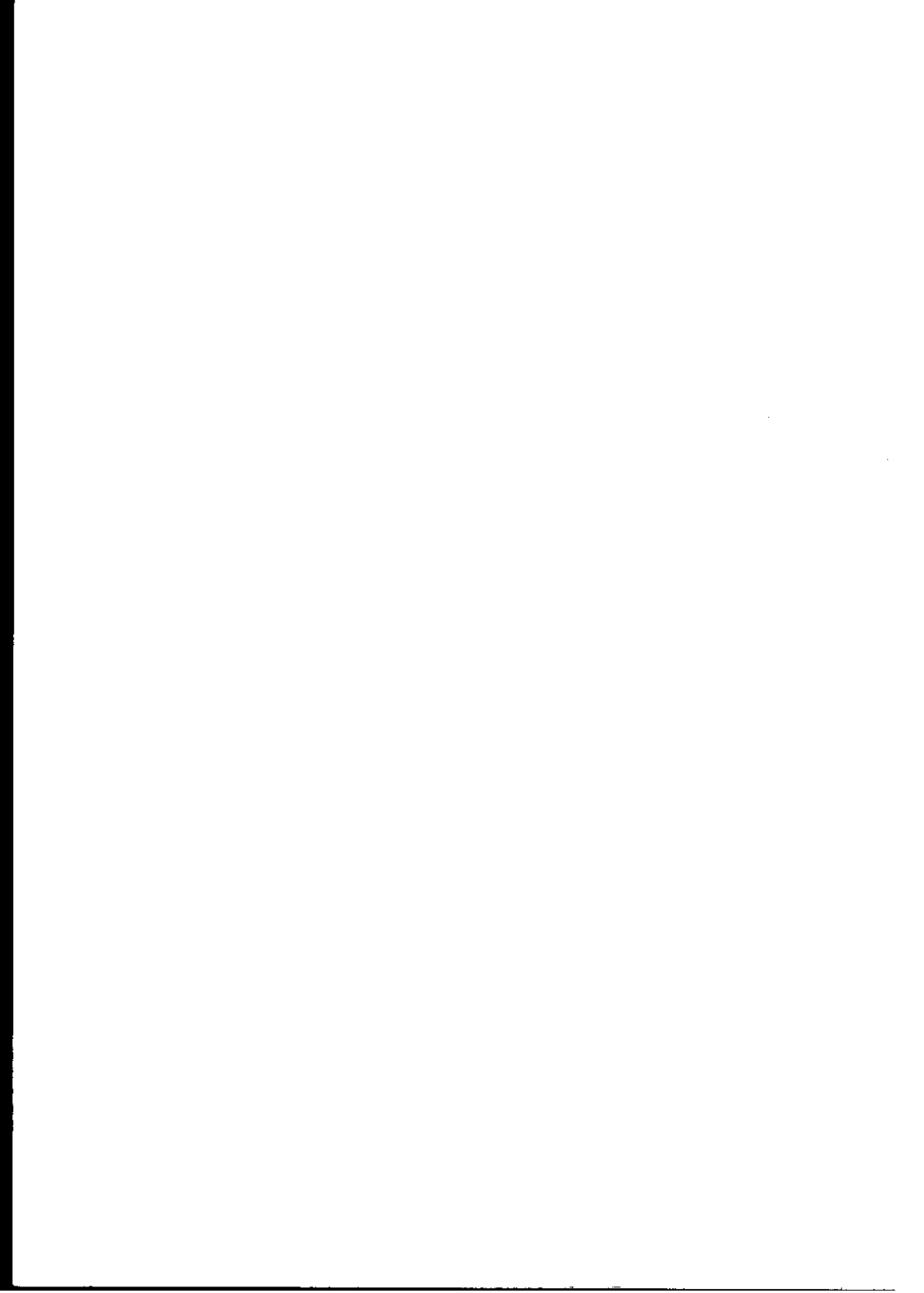


**DBF**

**DANSK BETONDAG 1979**

**PUBLIKATION 7: 1979  
DANSK BETONFORENING**



Dansk Betonforening

DANSK BETONDAG 1979

Afholdt i Rønne den 6. sept. 1979

København, september 1979

INDHOLD	Side
M.R. Byberg:	
<u>Et lavenergihus med udnyttelse</u> <u>af betons varmeakkumuleringsevne</u> .....	3
Sigurd Andersen:	
<u>Energiforbrug ved</u> <u>fremstilling af betonkonstruktioner</u> .....	15
Erik Stenestad og Bo Brix:	
<u>Tilslagsmaterialer - lovgivning, forbrug,</u> <u>kortlægning og planlægning, ressourcer</u> .....	35
Arne Damgård Jensen:	
<u>Projekter vedrørende undersøgelse og</u> <u>klassifikation af sand og sten til beton</u> .....	51
Carl le Sage de Fontenay:	
<u>Betonuddannelserne i Danmark</u> .....	71
N.U. Ingholt:	
<u>Rumstore elementer af letbeton</u> .....	77
Klaus Hansen:	
<u>Nye beregningsregler for støbeskel og fuger</u> .....	91
Michael Freddie:	
<u>Udvikling af bygningskomponenter i ferrocement</u> ....	107

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING  
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

ET LAVENERGIHUS MED UDNYTTELSE AF  
BETONS VARMEAKKUMULERINGSEVNE

af  
lektor, civ.ing. M.R.Byberg

AUGUST 1979

INDHOLD	Side
Lavenergihusprojektet	5
Lavenergihusforanstaltninger	6
Lavenergihus F	6
Oplægget til hus F	7
Lavenergihus F	7
Husets konstruktioner	9
Husets installationer	9
Energibalance	10
Varmeakkumulering i betonkonstruktionerne	11
Særlige undersøgelser i hus F	12
Litteratur	13

### LAVENERGIHUSPROJEKTET

Handelsministeriets lavenergihusprojekt omfatter 6 huse, der i 1978 er opført i Hjortekær i nærheden af Danmarks tekniske Højskole (DTH). Til et af disse huse er udelukkende anvendt betonkonstruktioner, bl.a. for at opnå så stor en varmeakkumulering i bygningskroppen som muligt.

Laboratoriet for Varmeisolering (Lfv) på DTH gennemfører Lavenergihusprojektet for Handelsministeriet i et samarbejde med 6 grupper af private firmaer.

Projektets 1.formål er at demonstrere, at det er muligt at bygge enfamiliehuse på ca.120 m<sup>2</sup> med et energiforbrug (betalt energi) til rumopvarmning, ventilation og varmt brugsvand på ca.5000 kWh/år svarende til ca.650 l olie pr.år. Lægges hertil energiforbruget til lys og husholdning, fås et samlet energiforbrug på ca.10.000 kWh/år.

Der er ved fastsættelsen af disse forbrug ikke regnet med nogen nedsættelse af komfortniveauet i husene.

Projektets 2.formål er efter husenes opførelse gennem en år-række at foretage detaljerede målinger af husenes energiforbrug og at muliggøre en kortlægning af de særlige driftsvilkår, der gælder for lavenergi huse.

Indsamling og analyse af driftserfaringer er en vigtig del heraf.

Samarbejdet mellem firmagrupperne og LfV er både af teknisk og økonomisk art, idet grupperne udover den tekniske projektering og opførelse af husene - med et tilskud af projektets midler - har betalt husene. Grupperne ejer hver sit hus og bærer den økonomiske risiko, indtil husene er solgt.

LfV har medvirket ved projekteringen og udført modelberegninger af husenes forventede energiforbrug.

LfV foretager energimålinger under en simuleret beboelsestilstand i husene over en periode på ca. 1½ år (indtil foråret 1980). Herefter bliver husene solgt, og LfV håber af de kommende ejere at kunne få tilladelse til at fortsætte målingerne i en beboet tilstand.

#### Lavenergiforanstaltninger

Husenes lave energiforbrug er opnået ved et samspil mellem ekstra varmeisolering, stor lufttæthed som forudsætning for varmegenvinding fra afkastluften, udnyttelse af alternative energikilder (sol og jord) samt udnyttelse af gratisvarme i tunge bygningskonstruktioner. Som gratisvarme regnes varme tilført fra personer, fra el til lys og husholdning og fra solindfald gennem vinduer. Alle husene er udstyret med et anlæg for kontrolleret fristluftskifte.

Gennem sin projektledelse har LfV tilstræbt, at så mange tekniske løsninger som muligt er repræsenteret i husene. Derimod har LfV ikke stillet krav til husenes arkitektur og materialevalg.

#### Lavenergihus F

Det lavenergihus, der her skal behandles nøjere, har fået betegnelsen F. Det stod færdigt 1.3.79. Målingerne i huset startede 1.4.79.

Firmagruppen omkring hus F består af:



Højgaard & Schultz A/S (Bygherre)  
Aalborg Portland  
Instituttet for Husbygning, DTH  
Cowiconsult, rådgivende ingeniører A/S

#### OPLÆGGET TIL HUS F

Da LfV indbød til det nævnte samarbejde, blev der samtidig formuleret 6 oplæg, der skulle give grupperne en idé om LfV's tanker.

Fra oplægget til hus F, kan nævnes:

##### Hus F, Glashuset

ét plan vægge udv. glasbeklædte  
tunge materialer  
luftvarme fra glasklædte vægge  
genvinding fra afkast via veksler  
genvinding fra spildevand via varmepumpe  
el fodpanelradiatorer.

Dette oplæg var absolut det mest "fantasifulde" og dermed det sværest realiserbare af LfV's oplæg. Efter at gruppen alvorligt havde søgt at realisere de fremlagte ideer i et brugbart projekt, måtte den udvendige glasbeklædning opgives, da den gav for mange uoverskuelige tekniske problemer og samtidig ville være urealistisk kostbar.

Herefter koncentrerede man indsatsen om det hus, der nu betegnes lavenergihus F.

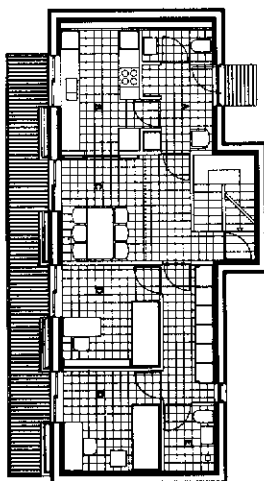
##### Lavenergihus F

Huset er et enfamiliehus i to etager med et bruttoetageareal på 176 m<sup>2</sup> og med fuld kælder. Det har meget lukkede, fuldt varmeisolerede ydervægge mod vest, nord og øst og til gengæld store glasarealer mod syd. Disse glasarealer er forsynet med 3-lags isoleringsruder samt udvendige isolerende skydeskodder, der automatisk lukkes for i nattetimerne.

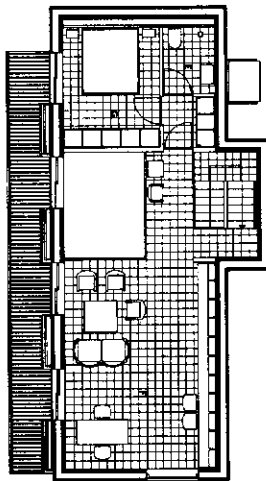
Solindfaldet begrænses om sommeren af en fast, vandret sol-  
afskærmning, der tillige fungerer som altan.



Stueetage



1. sal



### Husets konstruktioner

Alle ydervægselementer - også kælderydervæggene - er præfabrikerede betonsandwichelementer. Varmeisoleringen (170 mm mineraluld i kælderen, 200 mm i de øvrige etager) er ubrudt ført rundt om huset og ligeledes ubrudt forbundet med tagdækkets 300 mm mineraluld. Kældergulvet er støbt på 200 mm mineraluld. Randfundamentet bryder isoleringen helt, medens den reduceres fra 200 til 100 mm i en 70 mm bred strimmel omkring vinduer og døre.

Etage- og tagdæk er udført af 215 mm betonkanalplader med vederlag på gavle og tværvægge.

For at huset kan opnå den størst mulige lufttæthed, er udstøbningen mellem betonelementerne udført særlig omhyggeligt og på den indvendige side afsluttet med en ca. 20 mm dyb mørtelfugning, som - hvis det senere skulle vise sig nødvendigt - kan udkradses og erstattes af en sædvanlig fugning med elastisk fugemasse.

### Husets installationer

Huset opvarmes af et lavtemperatur gulvvarmeanlæg med plastslanger indstøbt i 70 mm overbeton på etageadskillelserne. Anlægget forsynes fra en kedelunit med gasfyr (bygas). Fyrets ydelse suppleres af en 20 m<sup>2</sup> solfanger anbragt med 45° hældning som selvstændig konstruktion på husets tag.

Der er kontrolleret friskluftindblæsning i alle rum og udsugning fra badeværelser, køkken og kælder. Friskluftmængden er ca. 200 m<sup>3</sup>/h. Der er genvinding fra afkastluften gennem en genvinder af pladetyper.

Det varme brugsvand forvarmes gennem den 1500 l store akkumuleringstank for solvarmeanlægget og eftervarmes efter behov i en beholder forsynet fra gasfyret.

Der er installeret avanceret automatik til styring af gulvvarmeanlægget under optimal udnyttelse af akkumulatortankens varmeindhold.

Gulvvarmeanlægget er som nævnt et lavtemperaturanlæg, der kun i de korte, meget kolde perioder kræver temperaturer over 26°C på grund af husets lave energiforbrug. Herved får solfangeren de bedste driftsbetingelser samtidig med, at gulvvarmeanlæggets træghed modvirkes. Varmeafgivelsen fra gulvet bliver næsten selvregulerende.

### Energibalace

Husets beregnede energibalace i et normalår (referenceåret) ser således ud:

Transmissionstab	12.600 kWh/år
Ventilation (200 m <sup>3</sup> /h friskluft)	8.200 - -
Varmt brugsvand	<u>3.700 - -</u>
Ialt	24.500 kWh/år

Dette forbrug dækkes ved solindfald gennem vinduer, ved personvarme og el til lys og husholdning i den udstrækning, de nævnte energimængder kan nyttiggøres. Det er f.eks. ikke tilfældet i sommermånederne.

Ved genvinding fra afkastluften forvarmes friskluften, hvorved ca.60% af ventilationstabet tjenes ind igen. Solvarmeanlægget giver tilskud både til forvarmning af brugsvand og til husets opvarmning. Den resterende varmemængde dækkes af gasfyret, dels som eftervarmning af brugsvandet, dels som opvarmning i de kolde måneder.

Solindfald g. vinduer	4.400 kWh/år
Personer	2.500 - -
El til lys og husholdn.	4.100 - -
Genvinding fra afkastluft	4.900 - -
Solvarmeanlæg	4.000 - -
Gasfyr	<u>4.600 - -</u>
Ialt	24.500 kWh/år.

Det skal bemærkes, at uden skodder for de sydvendte glasflader om natten skal gasfyret yde ca. 2200 kWh mere pr. år.

#### Varmeakkumulering i betonkonstruktionerne

Det er velkendt, at huse bygget af tunge materialer som beton, tegl og i nogen grad letbeton giver en mere stabil indetemperatur end de tilsvarende huse opført i lette konstruktioner, hvor oftest kun den indvendige pladebeklædning bidrager til husets varmeakkumulering. Det er også muligt at regne sig til de energimængder, der kan akkumuleres i  $1 \text{ m}^2$  væg af forskellig udformning under nøjere bestemte termiske betingelser. Direkte solbestråling af en vægflade giver højere vægtemperaturer, end hvis varmen blot overføres fra den omgivende luft.

En beregning af den varmeakkumulering, der finder sted i de forskellige begrænsningsflader for et helt rum, når rumtemperaturen stiger f.eks. på grund af forøget solindfald, kræver imidlertid så komplicerede beregninger og må baseres på så mange antagelser og tilnærmelser vedrørende varmeoverføringen til de enkelte delflader, at en præcis beregning ikke lader sig gennemføre i praksis.

De kendte beregningsprogrammer behandler da også problemet akkumulering meget summarisk, f.eks. ved at antage at rummet som helhed kan tillægges en akkumuleringskapacitet i en vis dybde fra overfladen. En beregning af energibesparelsen, når et lavenergihus opføres med tunge konstruktioner i stedet for lette, lader sig derfor kun gøre for stærkt forenklede modeller, og da besparelsen er lille i absolut størrelse, bliver den bestemt med stor usikkerhed.

Når der derfor i forbindelse med lavenergi huse lægges vægt på tunge konstruktioner med stor varmeakkumulering, er det nok så meget hensynet til husets komforttilstand, der tæller.

Senest har Adamson og Efring behandlet akkumuleringen be-

regningsmæssigt. For et toetages hus undersøger de bl.a. virkningen af at udføre etageadskillelsen af 200 mm massiv beton eller 200 mm letbeton. De finder under 3% større årligt energiforbrug med letbeton i stedet for beton.

Derimod er der betydelig større indflydelse på de maximale rumtemperaturer - op til 9°C højere temperatur, når etageadskillelsen ændres fra beton til letbeton. Betonkonstruktioner har altså en kraftig temperatur-stabiliserende virkning.

Dette hænger sammen med betonens høje temperaturledningstal ( $\sqrt{\lambda \cdot c \cdot g}$ ), der indgår som faktor i udtrykket for varmeakkumuleringen. For nogle typiske byggematerialer er temperaturledningstallet:

beton	28.8	Wh <sup>1/2</sup> /°C m <sup>2</sup>
tegl	12.7	- - -
letbeton	4.1	- - -
træ	7.1	- - -

Da netop lavenergihuse på grund af den forøgede varmeisole- ring er mere følsomme over for ændringer i den tilførte energi, det være sig solindfald, personvarme eller upræcis styring af varmeanlægget, tilstræbes det som regel at ind- bygge en varmeakkumulerende masse i huset.

#### Særlige undersøgelser i hus F

Ud fra ønsket om at få mere præcis viden om temperaturfor- holdene og dermed om den aktuelle varmeakkumulering i hu- sets betonkonstruktioner, er der i:

- to nordvendte facadeelementer
- et sydvendt facadeelement
- en indvendig tværvæg samt
- undersiden af et dækelement

indstøbt temperaturfølere i fire forskellige dybder fra ele- mentoverfladen: 120 mm, 60 mm, 30 mm og ca.5 mm (så tæt ved overfladen, som det har været praktisk muligt).

En registrering af de nævnte vægtemperaturer i efteråret 79 vil danne basis for et særligt forskningsarbejde vedrørende varmeakkumulering i tunge bygningskonstruktioner.

Litteratur

Bo Adamson & Bengt Efring: Design of Low-Energy Houses, Lund 1979.

Byberg, Djurtoft & Saxhof: 6 Lavenergihuse i Hjortekær. Kort beskrivelse af Husene. Lab.f.Varmeisolering, medd. nr.83, maj 1979.

Nielsen, Byberg, Djurtoft & Saxhof: 6 Lavenergihuse i Hjortekær. Statusrapport 1. Lab.f.Varmeisolering, medd.nr. 84, juni 1979.





DANSK BETONFORENING

Instituttet for Husbygning - Danmarks tekniske Højskole

ENERGIFORBRUG VED FREMSTILLING AF BETONKONSTRUKTIONER

af

Civilingeniør Sigurd Andersen

JULI 1979

## Indhold

	Side
Indledning	17
Grænsevalg for energiproduktion	17
Analysesystemers afgrænsning	20
Beskrivelse af systemgrænser	22
Energiforbrug og betonfremstilling	28
Energiforbrug og besparelser	31
Driftsforbrug og anlægsforbrug	32
Litteraturliste	34

## Resumé

Når energiforbruget til fremstilling af beton skal fastlægges, er det meget vigtigt, at metoden - energianalysen - og forudsætningerne - områdeafgrænsningen - er klarlagt tydeligt.

Med de i artiklen givne afgrænsninger kan energiforbruget til fremstilling af betonkonstruktioner i grove træk sættes sammen af:

- |  |        |
|--|--------|
| - energiforbrug til cement                 | 45-55% |
| - energiforbrug til videreforarbejdning    | 10-25% |
| - energiforbrug til armering               | 0-40%  |
| - energiforbrug til udtørring              | 0-20%  |
| - ekstraforbrug til vinterforanstaltninger | 0-30%  |

angivet i % af det normale energiforbrug til fremstilling af beton.

Sammenlignet med konstruktioner i andre materialer har betonkonstruktionerne ud fra et energimæssigt synspunkt fordelte ved, at råmaterialerne forekommer lokalt, hvorved transportenergiforbruget nedsættes, og at beton er et relativt lavtforarbejdet materiale. De mulige besparelser ved fremstilling af beton må først og fremmest findes i cementproduktionen, i materialebesparelser og i begrænsninger af kunstig udtørring og vinterbyggeri.

## ENERGIFORBRUG VED FREMSTILLING AF BETONKONSTRUKTIONER

### Indledning

Når man vil danne sig et billede af forbruget af energi\* til fremstilling af en brugsvare, det være sig beton, fødevarer eller brændsel, må man anlægge en nøje defineret betragtningsmåde. I pengeøkonomien er dette sæt af spilleregler i stor udstrækning kendt, selv om man især for nationaløkonomiske beregninger kan være særdeles uenige om dem.

Da undersøgelser om energiforbrug - energianalyser - på mere nøjagtigt grundlag er noget ret nyt, er det karakteristisk, at resultater af sådanne energianalyser, som findes i litteraturen, ofte er usammenlignelige, netop fordi forfatterne har benyttet hver sin betragtningsmåde i undersøgelsen. Endnu værre er det, at denne betragtningsmåde sjældent beskrives, således at de angivne resultater slet ingen værdi har. Der skal derfor først gennemgås generelle og individuelle aspekter med hensyn til afgrænsning af energianalysens omfang.

### Grænsevalg for energiproduktion

Først en oplysning: Enheden for energimængder er i denne undersøgelse: kWh og alle andre enheder er også SI enheder.

\*) Ordet energi er afledt af det græske ord for arbejde, ergon. I denne sammenhæng kan betydningen af ordet snarere forklares som energiressource. Videnskabeligt er ordet energiressource defineret ved begrebet exergi, se f.eks. [78.1].

Egenforbrug af energi til fremstilling af energi efter [74.1], [74.2] og [79.1].

	Ud- vin- ding	Int. trans- port	Raffi- nering	Lokal trans- port	Total*	for danske forhold
Olie	2%	1-5%	4-9%	2,5%	9,5-18,5%	~15%
Kul	2%	0-10%	0%	2,5%	4,5-14,5%	~12%
Koks	2%	0-10%	6-13%	2,5%	10,5-27,5%	~25%
Naturgas	2%	1-5%	2-12%	2,5%	6,5-16,5%	~10%
Bygas	2%	1-5%	5-20%	2,5%	9,5-24,5%	~20%
Elektricitet	6%	3-15%	130-275%	4%	150-300%	~155%

\*) heri er også inkluderet indirekte energiforbrug fra leverede materialer, maskiner m.m.

Egentlig skulle der anvendes Joule (J), men da denne enhed i mange tilfælde vil give store og uhåndterlige tal, vælges det at anvende kWh (1 kWh = 3600 kJ = 3600000 J).

Omsætning mellem energienheder:

- 1 Wh = 3600 J = 860 cal.
- 1 kWh = 10 WJ (kilo)
- 1 MWh = 10 WJ (Mega)
- 1 GWh = 10 WJ (Giga)
- 1 TWh = 10 WJ (Tera)

Nu er ikke alle energiformer kvalitativt lige gode, både ud fra et produktionssynspunkt og ud fra et miljøsynspunkt. Man taler populært om hård kontra blød energi eller højværdienergi kontra lavværdienergi. F.eks. er 1 kWh elektricitet egnet til udførelse af langt flere typer af arbejde end 1 kWh varmeenergi ved sædvanlige temperaturer.

Man kan omdanne elektrisk energi til varme med en udnyttelse på 100%, men man kan med de processer, vi kender idag, som f.eks. bruges i dampmaskiner og generatorer, kun udvikle

elektricitet af varme med en meget lavere udnyttelse 25-40%. Dette hænger sammen med processernes termodynamiske begrænsninger. For omdannelse af varmeenergi til bevægelsesenergi, som det sker i dampturbiner, også kaldet Carnot processen, kan nyttevirkningen ikke overstige værdien  $\frac{T_o - T_u}{T_o}$ , hvor  $T_o$  og  $T_u$  er indgangs- og udgangsværdier af damptemperaturen.

Hvert energiforvandlingstrin, energikonvertering, er derfor i praksis behæftet med et tab af energi i form af varmestrømme. Varmestrømmene kan igen udnyttes og konverteres til ønskede energiformer, men også her er der forskel på varmeenergiens kvalitet, idet højtemperaturenergi meget lettere end lavtemperaturenergi kan udnyttes.

Man kan altså evaluere energiens kvalitet efter dens tilstandsform.

Al energi konverteres til slut til lavtemperaturvarme. Denne varme kan kun bruges til opvarmningsbehov, eller komfort for det enkelte menneske, men meget vanskeligt til procestekniske formål i produktionen.

Denne forskel i energikvalitet vælges det at tilgodese ved at regne alle energiforbrug om til forbrug af brændsel, d.v.s. forbrug af kemisk bundet energi, ved hjælp af de aktuelle virkningsgrader for konverteringsprocesserne.

Def.: Ved energiforbrug - hvor ikke andet er angivet - menes forbrug af kemisk bundet energi i form af brændsel.

Brændslets energiindhold defineres som dets nedre brændværdi. Andre energiformer end gas, olie og kul tillægges et energiindhold korrigeret for konverteringstab.

Det er indlysende, at for at udvinde og raffinere brændsel kræves også energi, men da dette til dels foregår uden for Danmarks grænser, er det valgt at lægge grænsen ved det brugsklare brændsel.

Endvidere er der i forbindelse med raffineringen, udvindingen m.m. af brændsler meget varierende brændselsforbrug fordelt på mange forskellige slutprodukter. Det betyder, at den faktor, som skal bruges som multiplikator for at opnå det totale energiforbrug, som beskrevet i [74.2], skal detalieres selv med hensyn til brændslets oprindelsesland og ligeså de enkelte brændselsforbrug. Dette synes at være uoverkommeligt. Et meget groft skøn over en gennemsnitsmultiplikator kan være 1,15.

(Se tabel øverst side 4).

Endelig må der gøres opmærksom på, at hvis man vil sammenligne energiforbruget til "anlæg" og til "drift", skal denne multiplikator benyttes på både anlægsforbruget og driftsforbruget, eller faktoren lades helt ude af billedet.

Af dette og de følgende betragtninger skulle det fremgå, hvor mange muligheder der er for, bevidst eller ubevidst, at manipulere med tallene i en energianalyse.

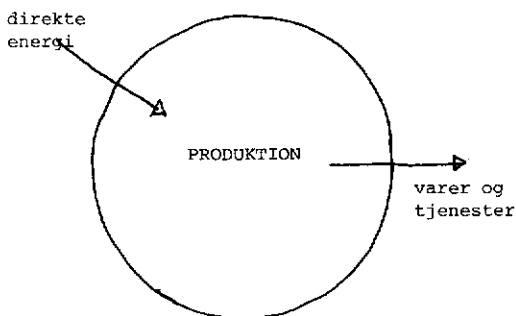
#### Analysesystemers afgrænsning

En analyse af energiforbruget, der er forbundet med en bestemt handling eller vare, kan foregå på flere forskellige måder. Det er meget vigtigt, at der afgrænses et område knyttet til produktet, inden for hvilket analysen skal foretages.

Standardiserede metoder til udvælgelse af systemgrænser findes f.eks. i IFIAS-metoden, [74.2], der fastlægger grænserne ved energiresourcernes udnyttede stadi og ved den aktuelle analyses objekt.

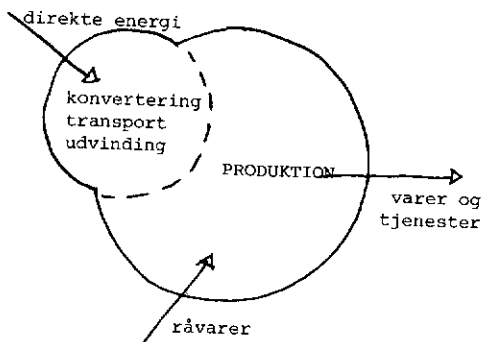
Den i denne analyse benyttede systemgrænse er i detaljer beskrevet i de følgende afsnit. Den er baseret på de forslag, der stilles i [77.1], og analysens resultater må ikke bedømmes på grundlag af den af IFIAS benyttede størrelse, GER, Gross Energy Requirement.

I [77.1] angives der forslag til fire forskellige analyseniveauer, som på forskellig måde tager hensyn til andre faktorer i en produktion, som ikke direkte berører energiomsætningen.



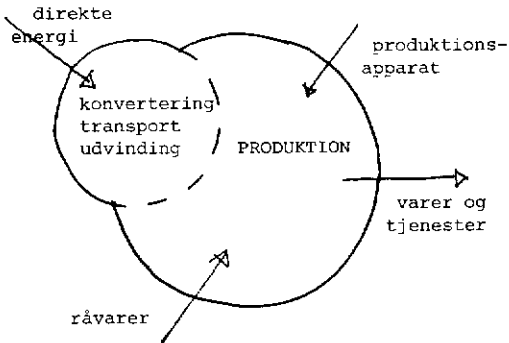
#### Analyseniveau 1:

I denne analyse vælges grænserne således, at kun det direkte eller primære energiforbrug til produktionen medtages.



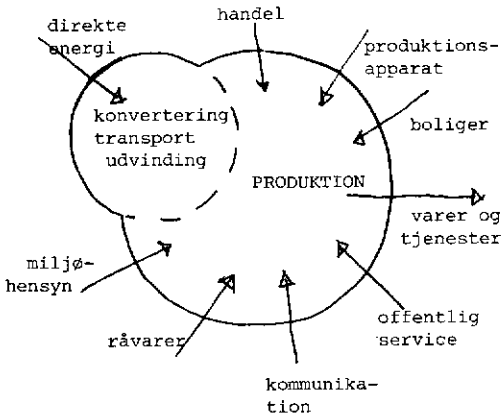
#### Analyseniveau 2:

I niveau 2 udvides grænserne, så også energikonvertering og transport af energi medtages. Samtidig tillægges de anvendte råstoffer et energiforbrug.



Analyseniveau 3:

Ved en yderligere udvidelse af grænserne medtages energiforbrug, der er forbundet med fremstilling af systemets produktionsapparat.



Analyseniveau 4:

Endelig er der med det 4. niveau taget alle mulige faktorer i betragtning som resultater i energiforbrug, og som kan relateres til den analyserede produktion.

I det følgende vælges det at benytte en modifikation af analyseniveau 4.

Beskrivelse af systemgrænser

Fremstillingen af materialer og bygninger er processer, hvor anvendelsen og regnskabet over den anvendte energi i mange tilfælde kan ækvivaleres med et økonomisk regnskab. Man kan overføre økonomiske udgifter til analoge størrelser i energiodgift:



1. Råvareressource	råvareressource
2. Råvareudgift	energiforbrug til råvareproduktionen
3. Produktionsudgifter	produktionsenergiforbrug
4. Arbejds løn	energiforbrug til personale
5. Transportudgifter	transportenergiforbrug
6. Administrationsudgifter	energiforbrug i administrationen
7. Afskrivning	afskrivning af energiforbrug til produktionsapparat m.m.
8. Ny investering	energiforbrug til nyt produktionsapparat
9. Miljøudgifter	energiforbrug til mindskning af forurening.

\*)

De ting, som ikke kan overføres fra en økonomisk betragtning, er inflation og renteudgifter, idet energimængden ikke afhænger af konkunktur og diskonto, men er en forholdsvis konservativ størrelse. Det er vel også åbenbart, at man ikke kan gå ud fra, at den samme faktor i økonomi og enerkonomi\*\* har samme vægt i en samlet vurdering.

Energiforbruget i forbindelse med fremstilling af varer vil ikke være følsomt over for udbud og efterspørgsel for varen. Det analoge begreb til profit findes ikke i en energianalyse.

I vores samfund er økonomien i meget høj grad bestemt af den menneskelige arbejdsindsats, idet forholdet mellem prisen på arbejdskraft og ressourcer er vokset til et meget højt niveau. Dette giver en skævhed i sammenligningen mellem penge-

\*) De enkelte begreber defineres nærmere på de næste sider.

\*\*\*) Dette begreb blev i sin tid indført som en fællesbetegnelse for energianalysers beregningsmetode - analogt til økonomi og prisberegning.

økonomien og enerkonomien, men forhindrer ikke, at man kan bruge økonomiens beregningsmetoder og vurderingsmåder også på erkonomien.

Man kan imidlertid i en stor del af byggesektoren se bort fra en del af de ovenfor nævnte faktorer, idet de enerkonomisk set bidrager meget lidt til det samlede forbrug af energi.

#### Råvareudgift

En råvare repræsenterer en bestemt mængde energi, idet der er anvendt energi til fremstillingen af råvaren lige fra den er blevet gravet ud af jorden. Dette energiforbrug er sammensat af alle de nedenstående størrelser. Energien optræder altså ikke i processen eller i det interne enerkonomiske regnskab for den aktuelle produktion, men må alligevel tages med som en energiudgift, ligesom der optræder en økonomisk udgift til råvarer i det økonomiske regnskab. Dette gælder for alle produkter.

#### Produktionsforbrug

Ved produktion forstås her en bearbejdning af råvarer til færdigvarer eller halvfabrikater inden for et afgrænset område, hvorved der forbruges en direkte energimængde.

Det viser sig, at dette forbrug i de fleste tilfælde er det væsentligste af dem alle og derfor må behandles med den største omhu. Produktionsforbruget eller procesforbruget er som regel også undersøgt og belyst intensivt for de forskellige delprocesser i industrien.

#### Arbejds løn - personforbrug

Her er sammenhængen meget kompliceret. Økonomisk betyder udgiften til arbejds løn meget, og man kan med en vis ret sige, at lønnen går til opretholdelse af arbejdskraftens levestandard, d.v.s. private energi- og råvareforbrug. Man kan ækvi- valere en arbejders energimængde med den mængde energi, en maskine forbruger, når den skulle udføre samme arbejde, el-

ler man kan ækvivalere en arbejders arbejde med den energimængde, arbejderens legeme omsætter.

Arbejdskraft er en ressource, som i økonomisk henseende idag er mere kvalitativ end kvantitativ. I økonomien kan både kvalitet og kvantitet af arbejdskraft omsættes til et pengekvantum.

Enerkonomisk set vil det være svært at omsætte arbejdets kvalitet til et energiforbrug ud fra et objektivt synspunkt. Skulle man tage hensyn til alle de forbrug, en arbejdskraft resulterer i, også i det private, kunne man beskrive hele den danske energiomsætning ud fra én bestemt virksomheds energiforbrug.

Formålet med energianalysen er at kortlægge de håndgribelige energiforbrug i en byggeproces for derudfra at kunne afgøre, hvor og i hvor store mængder man kan nedsætte energiforbruget. Der vælges derfor at betragte arbejdskraft som en udenforstående størrelse, der ganske vist repræsenterer en energimængde, men som ikke tages i regning i det følgende. Dette må tages i betragtning ved vurdering af resultater af de senere analyser.

### Transport

Transport optræder mange steder i en byggeproces, både gods-transport og persontransport. Transportudgifter betyder i økonomien både brændselsudgifter, afskrivning, renter og vedligeholdelsesudgifter. Enerkonomisk er brændselsudgifterne langt de overvejende. Et eksempel:

En 3 t lastbil kører i sin levetid 200.000 km og har en lasteevne på 10 t.

Brændselsforbruget er for en lastbil ca. 0,6 kWh/kmt, altså ialt 1.200.000 kWh.

En lastbil kan skønsmæssigt ækvivaleres med et skjult energiforbrug på 20.000 kWh/t, altså ialt 60.000 kWh. Reparation

antages at andrage 10% heraf  $\sim 6.000$  kWh. Det ses, at 5% af brændselsforbruget svarer til vedligeholdelse og produktion.

Da man imidlertid ikke kan bestemme brændselsforbruget pr. transportenhed med en usikkerhed bedre end  $\pm 20\%$ , kan man se helt bort fra disse sekundære energibidrag.

Transportforbruget vil i de fleste tilfælde kun være få procent af produktionsforbruget, men kan få betydning i meget energiekstensive processer og produkter.

#### Administration og anden service

Her går udgiften, økonomisk set, både til drift, afskrivning, renter og arbejds løn.

Enerkonomisk glider renter og arbejds løn ud, og afskrivningen behandles senere. Tilbage er energiforbruget til driften af bygninger. I denne sammenhæng vil det sige brændsels- og elforbruget til opvarmning, belysning og ventilation og elektriske apparaturer.

Disse forbrug kan i visse tilfælde være ret betragtelige, især i den mere serviceprægede del af byggeprocessen. De bør i alle tilfælde tages med og vil i de fleste tilfælde være registrerbare.

#### Afskrivning

Ligesom man i økonomien må regne med en vis værdiforringelse af produktionsapparatet og bygningerne, må man i enerkonomien regne med en nedskrivning af den energimængde, der er anvendt til fremstilling af produktionsanlægget med tiden. For bygninger er anskaffelses-energien af størrelsesorden  $1.000 \text{ kWh/m}^2$ . Opvarmningsbehovet og elforbruget er årligt af størrelsesordenen  $200 \text{ kWh/m}^2$ . Afskrives bygningen over 40 år, fås  $25 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$ , altså 12% af driftsomkostningerne. Afskrivningen af andet produktionsmateriel kan være større, men vil

i de fleste tilfælde optræde sammen med meget store produktionsforbrug.

Det vil altså være rimeligt i de fleste tilfælde at se bort fra dette bidrag og kun kontrollere bidraget herfra i energiekstensive produktioner, idet bidraget i de fleste tilfælde ligger mellem 0 og 3%.

#### Investering

For investering i produktionsapparatet gælder de samme betragtninger. Det vælges derfor at lægge denne ind under afskrivningen.

#### Miljø

I visse industrigrene kan man tænke sig, at man i fremtiden vil stille endnu større krav til forureningskontrol m.m., og at det vil resultere i et voksende energiforbrug i industrien. Det kan f.eks. være et krav om en minimumventilation i produktionslokalerne, som vil forøge elektricitetsforbruget, eller en omdannelsesproces på det affald, som er et biprodukt ved produktionen.

Denne faktor må huskes, når man vil sammenligne energiforbruget i f.eks. Danmark med tilsvarende forbrug i et mindre udviklet land, hvor miljøkrav og sikkerhedskrav ikke er gældende.

#### Levetid

Levetiden af produktet har både økonomisk og enerkonomisk stor betydning for brugsværdien af et produkt, og det er derfor vigtigt, at man vurderer levetiden af et produkt objektivt og præcist. Desværre findes der ikke ret mange statistiske oplysninger om dette emne (og jeg vil ikke tro, at man kan bestemme den fremtidige levetid med en nøjagtighed, der er bedre end  $\pm 30\%$ ).

### Definition

Grænserne for den enerkonomiske undersøgelse lægges således, at der medtages

- DF - Det direkte energiforbrug i produktionen.
- KF - Det tilhørende energiforbrug til komfort (opvarmning, ventilation m.m.) i produktionslokaler, byggepladser og administrationsbygninger.
- RF - Det skjulte energiforbrug i de anvendte råmaterialer.
- TF - Transportens energiforbrug i forbindelse med produktion eller levering.
- AF - Afskrivning af energiforbruget til produktion af produktionsapparatet.
- MF - Miljøbestemte ekstraenergiforbrug.
- SF - Det samlede forbrug af energi.
- SSF - Det samlede specifikke energiforbrug.  
= (DF + KF + RF + AF + MF)/produktionsmængde.

### Energiforbrug og betonfremstilling

Som ved alle materialer eller varer kan fremstillingen af beton ud fra et energimæssigt synspunkt splittes op i tre principielle forløb:

- a) udvinding af råmaterialer
- b) videreforarbejdning
- c) montage (for beton også udstøbning m.m.).

I det første forløb a) er der tale om simple analysesystemer, hvor det direkte energiforbrug er meget dominerende. Denne dominans aftager gradvis, når man bevæger sig over i forløb b), samtidig med at analysen bliver mere og mere kompliceret og omfattende. Træder man ind i forløb c), er energiforbruget især karakteriseret ved det direkte forbrug og det indirekte forbrug, der tilføres gennem materialerne. Beregningerne minder da meget om almindelige tilbudsregninger.

Over halvdelen af energiforbruget til fremstilling af beton skyldes cementbrændingen. Energiforbruget til udvinding af

råmaterialer, tilslag m.m. er forsvindende i forhold hertil, men kan tænkes at stige betydeligt, når man må fremskaffe tilslagsmaterialer af klippematerialer. Brændingen af cement foregår idag med en metode, hvor nyttevirkningen er meget lav - 17-39%. De store rørovne har dels et ufordelagtigt forhold mellem overfladeareal og ovnvolumen og er yderligere vanskelige at isolere. Det synes derfor rigtigst at forsøge at indsamle spildvarmen og udnytte den til boligopvarmning. Der kan også opnås betydelige reduktioner af energiforbruget ved at gå over til forbedrede udgaver af den såkaldte "tørmetode", som der også arbejdes ihærdigt på i Danmark. Litteratur [77.2].

I den videre forarbejdning tilføres der igen store energimængder under fremstillingen af præfabrikerede betonvarer. Da er den væsentligste energiforbrugende proces autoklavering eller damphærdning. De mekaniske bearbejdningsprocesser - blanding, udstøbning og vibrering - kræver ret små energimængder. Damphærdning eller autoklavering repræsenterer ca. 1/4 af energiforbruget til fremstilling af præfabrikeret beton. Processen har en større nyttevirkning end ovenfor nævnt, men kan dog forbedres væsentligt med hensyn til energioekonomi selv med konventionelle metoder. Litteratur [69.1].

På byggepladsen domineres energiforbruget af to faktorer, som har relation til beton, udtørring og vinterbyggeri. De øvrige operationer på byggepladsen tegner sig for meget små energiforbrug og udgør sjældent mere end 5% af det samlede energiforbrug til fremstilling af et hus. Udtørringen af et betonhus er sammensat af to bidrag. En udtørring - naturlig eller kunstig - af råhuset i byggeperioden og en restudtørring i den første del af driftsperioden. Den sidste del er som regel uundgåelig og resulterer i et forøget varmeforbrug i driftsperiodens begyndelse. Den første del kan tegne sig for energiforbrug lige fra ingenting, når råhuset udtørres ad naturlig vej, op til 20% af husets samlede fremstillingsforbrug, når den kunstige udtørring er mest påkrævet. I sådanne situationer er udtørringen ofte kombineret med vin-

terbyggeri. Vinterbyggeri kan resultere i meget betydelige ekstraenergiforbrug. Der er konstateret forbrug fra 3-30% af det samlede energiforbrug til fremstilling af bygninger. Energiforbruget i forbindelse med vinterbyggeri skyldes især opvarmning af råhuset, opvarmning af vand og tilslag og opvarmning af midlertidige arbejdsrum og skure.

Herunder er energiregnskabet for en bebyggelse bestående af boligblokke, hvor råhuset er bygget af præfabrikerede betonelementer, vist. Til sammenligning er der anført typiske akkumulerede energiforbrug til fremstilling af andre bygninger og driftsbrug.

Energiforbrug til materialer og operationer på byggepladsen for

Blåkildegård

Bruttoetageareal 41000 m<sup>2</sup>

Etager 2

Konstruktioner Betonelementer, bærende facader

Bebyggelsesplan 56 blokke, 402 boliger, stavblokke

Energiforbrug pr. bruttoetageareal - kWh/m<sup>2</sup>

Materialer til:	Bygningsbasis	182.9	
	Råhus, primære dele	654.7	
	Kompletterende dele	37.3	
	Overflader	58.9	
	VVS-anlæg	111.3	1055.1*
	Grundbeklædning	72.5	
	Elinstallationer	7.4	
	Malerarbejde	10.0	
	Fast inventar	28.3	
	Varmecentral	(21.1)	139.3
På byggepladsen	El-forbrug	39.8	
	Vinterforanstaltn.	70.0	
	Udtørring, ekskl.el	47.9	
	Jordarbejde	5.0	162.7

\*) Til sammenligning med dette forbrug gælder (seneste side):



Lavenergihuse	1100 - 1300 kWh/m <sup>2</sup>
Stålskelethuse	1100 - 1500 kWh/m <sup>2</sup>
Teglhuse	1000 - 1200 kWh/m <sup>2</sup>
Træskelethuse	700 - 900 kWh/m <sup>2</sup>
Driftsforbrug	
BR-77 enfamiliehus	195 kWh/m <sup>2</sup> år
Etagebloklejlighed	180 kWh/m <sup>2</sup> år
Lavenergihus	80 kWh/m <sup>2</sup> år

### Energiforbrug og besparelser

Vurderingen mellem forskellige materialer i en energianalyse falder positivt ud for den rå beton. Argumenterne herfor er bl.a., at betonens råmaterialer forekommer lokalt - bortset fra armeringen -, og at betonen er et forholdsvis enkelt materiale, forstået på den måde at forarbejdningsgraden ikke er høj. Derved bliver energiforbrug hidrørende fra transport, service og afskrivning relativt lavt. Der synes desuden at være store muligheder for at reducere energiforbruget til fremstillingen betydeligt. I fremstillingsprocesserne for cement og andre råmaterialer er der potentielle besparelsesmuligheder på 40%. Besparelser af samme størrelsesorden vil formodentlig kunne opnås i videreførelsen. Dertil kommer materialebesparende virkninger som f.eks. reduceret cementforbrug i forbindelse med den omtalte Vipresvibreringsmetode på 20-30%. Materialebesparelser i konstruktionerne kan i visse tilfælde reducere energiforbruget til fremstilling af konstruktionerne med 20-25%.

Den mest nærliggende besparelse vil kunne opnås ved en mere bevidst holdning over for vinterbyggeri og generelt afpasning af byggetidspunkt efter årstid. Dette kræver imidlertid en stillingtagen både hos bygherre og entreprenør med hensyn til pengeøkonomiens henholdsvis energiøkonomiens vægt i planlægning og projektering.

En sammenligning mellem energiforbrug til fremstilling af forskellige materialer er irrelevant på materialeniveau og må foretages på konstruktionsniveau. Dette vil føre for vidt

her, og der skal gives nogle håndregler for beregning af betonkonstruktioner og derudover henvises der til [80.1].

For fremstilling af betonkonstruktioner har den hidtidige energianalyse givet følgende værdier for det akkumulerede energiforbrug E:

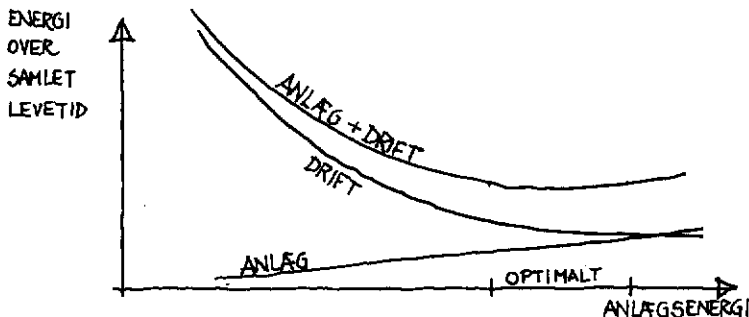
Fabriksbeton	$E = 0,94 \cdot c + 42$ kWh/ton
Pladsbeton	$E = 0,94 \cdot c + 19$ kWh/ton
Betonelementer	$E = 0,94 \cdot c + 249 \cdot \varphi + 179$ kWh/ton
Armeringsstål	$E = 7700$ kWh/ton
Kunstig udtørring af præfab.elementer	$E = 30-50$ kWh/ton
af in situ beton	$E = 60-100$ kWh/ton
Betonforme	$E = 20-60$ kWh/ton
Blanding	$E = 1$ kWh/ton
Kranløft	$E = 2$ kWh/ton

hvor c er cementindholdet i  $\text{kg/m}^3$ , og  $\varphi$  er armeringsprocenten.

Ekstraordinære vinterforanstaltninger	$E = 25-60$ kWh/m <sup>2</sup> etageareal
Arbejdsskure, opvarmning	$E = 1-5$ kWh/m <sup>2</sup> etageareal
Pladsbelysning	$E = 3-5$ kWh/m <sup>2</sup> etageareal

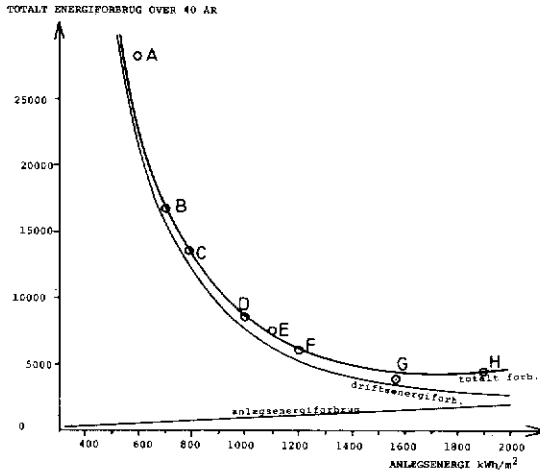
### Drifts- og anlægsforbrug

I energianalyser, hvor både anlægs- og driftsforbrug behandles, vil man altid kunne beskrive det totale energiforbrug som funktion af anlægsforbruget. Funktionens principielle udseende vil da være som vist herunder.



Ved et bestemt anlægsforbrug er der minimum af det totale energiforbrug, svarende til at den marginale energibesparelse over bygningens levetid er lig med det marginale anlægsenergiforbrug. En vigtig faktor i sådanne beregninger er levetiden af bygninger og bygningsdele.

Målet med energianalyser af den art, der er beskrevet på de tidligere sider, er vel først og fremmest at kunne give ud-sagn om, hvilket anlægsenergiforbrug respektive lavenergi-hus-niveau, der er optimalt ud fra energihensyn alene. Konsekvensen af sådanne betragtninger ville være, at IFH's Nul-energi-hus måske ikke ville have fået sin nuværende form.



Sammenhæng mellem totalt energiforbrug over 40 år og anlægsenergiforbruget for forskellige huse.

- A: Boblehal, enkelt dug
- B: Boblehal, termodug
- C: Enfamiliehus 1972
- D: Enfamiliehus 1978
- E: Lavenergitypehus 1978
- F: DTH-Nul-energi-hus m. konventionel opvarmning
- G: Lavenergi-hus i Hjortekær
- H: DTH-Nul-energi-hus med solfangersystem

Litteratur

- 69.1 Zorislav Franjetic:  
BETON-SCHNELLHARTUNG  
Østtyskland 1969
- 74.1 P.F. Chapman m.fl.:  
THE ENERGY COST OF FUELS  
Energy Policy Vol. 2, 1974, pp. 231-243  
England
- 74.2 ENERGY ANALYSIS  
IFIAS-Workshop Report, Report No. 6  
Sverige 1974
- 77.1 ANALYS AV ENERGIINSATSER I PRODUKTER  
OCH FUNKTIONER  
IVA-rapport nr. 95,  
Sverige 1977
- 77.2 PROCEEDINGS OF THE FEA-PCA SEMINAR ON  
ENERGY MANAGEMENT IN THE CEMENT INDUSTRY  
Conservation Paper No. 47  
U.S. Government Printing Office  
U.S.A. 1977
- 78.1 Torben Smith Sørensen:  
ENERGI OG ENERGI ER MANGE TING  
Information den 10.2.1978  
Danmark 1978.
- 79.1 DEFU og Dansk Kedelforening:  
DANMARKS ENERGIBALANCE 1978  
Danmark 1979
- 80.1 Sigurd Andersen:  
DET AKKUMULEREDE ENERGIFORBRUG VED FREMSTILLING  
AF BYGGEMATERIALER  
Rapport nr. , Instituttet for Husbygning, DTH  
Danmark 1979
- Sigurd Andersen:  
DET AKKUMULEREDE ENERGIFORBRUG VED FREMSTILLING  
AF BOLIGER  
Rapport nr. , Instituttet for Husbygning, DTH  
Danmark 1980

FREDNINGSSTYRELSEN, MILJØMINISTERIET

Tilslagsmaterialer - lovgivning, forbrug, kortlægning  
og planlægning, ressourcer

af

Erik Stenestad og Bo Brix

AUGUST 1979

## Tilslagsmaterialer

lovgivning, forbrug, kortlægning og planlægning, ressourcer.

### Lovgivning.

Den første generelle regulering af udnyttelse af sten, grus og andre naturforekomster i jorden og på søterritoriet, blev indført i 1972 samtidig med Danmarks indtræden i EF. Dette skete ved lov nr. 285 af 7. juli 1972. Denne lov medførte, at der skulle indhentes en tilladelse til at foretage indvinding i jorden, og indførte sammen med kontinentalsokkel-loven, lov nr. 259 af 9. juni 1971 en tilladelsesordning, også for indvinding af råmaterialer fra henholdsvis søterritoriet og kontinentalsoklen.

Baggrunden for disse love var den betydelige stigning, der kunne konstateres i råstofindvindingen og råstofforbruget i 60'erne og i begyndelsen af 70'erne. Det var navnlig skadevirkningerne af råstofindvindingen og stigningen i eksporten af grus- og stenmaterialer, der gav anledning til lovgivningen. Et hovedsigte med denne første råstoflov var derfor, at man af landskabelige hensyn kunne afslå råstofindvinding, og kunne påbyde en efterbehandling af arealer, hvorpå der skulle foregå en indvinding.

Ved miljøministeriets dannelse i 1973, hvor man samlede arealanvendelseslovgivningen i ét ministerium, blev loven taget op til nyvurdering. Med fredningsstyrelsens dannelse i 1975, sendtes publikationen "Råstofressourcer og deres anvendelse". Denne redegørelse samler de væsentligste problemstillinger, der knytter sig til råstofudnyttelsen. Publikationen dannede baggrund for råstofloven fra 1977, lov nr. 237 af 8. juni 1977.

Hovedformålet med denne lov, er at råstofudnyttelsen skal ske efter en samlet planlægning, og en vurdering af foreliggende samfundsmæssige hensyn. Hertil kommer, at der skal ske en

ressourceøkonomisk anvendelse af forekomsterne, og at der skal foretages en samordning af myndighedernes behandling af spørgsmålet om indvinding af råstofferne.

Råstofloven af 1977 indeholder derfor en række bestemmelser, som tager sigte på at øge kendskabet til råstofforekomsterne såvel på landjorden som på havbunden. Denne kortlægning skal danne grundlag for en samlet planlægning, såvel af indvindingen af råstoffer i relation til andre arealinteresser, som af en samlet forsyningsplanlægning, der skal sikre erhvervenes forsyning med råstoffer. Loven giver mulighed for, at fastlægge regler om mængden og kvaliteten af de råstoffer, der må anvendes til forskellige typer af bygge- og anlægsarbejder, og at fastlægge, om der skal anvendes affalds- og erstatningsprodukter, eller eventuelt ske genanvendelse.

Hensigten med råstofloven er således, at tilstræbe den bedst mulige anvendelse af de naturgivne begrænsede råstofferessourcer. Baggrunden er den velkendte- og velbegrundede frygt for, at en mangelsituation for nogle råstoffer snart vil kunne ventes, og at visse råstoffer inden for en kortere årrække vil slippe op.

#### Forbruget af tilslagsmaterialer.

Tilslagsmaterialer benyttes ved fremstilling af beton, groft sagt i forholdet 1 ton cement til 4 m<sup>3</sup> tilslagsmaterialer. Tilslagsmaterialerne kan have en forskellig sammensætning og kornstørrelse, og er i øvrigt undergivet den teknologiske udvikling. Medens man for 50 år siden overvejende anvendte singels (32-70 mm) anvendte man for godt 25 år siden nøddesten (16-32 mm) og nu er ærtesten (8-16 mm) dominerende.

Tilslagsmaterialerne kommer såvel fra land som fra havbunden. Ved hjælp af de indberetninger om råstofindvinding, som er etableret med råstoflovgivningen, får Danmarks Geologiske Undersøgelse og fredningsstyrelsen et stadigt forbedret statistisk materiale om, hvor stort forbruget er, hvad tilslagsmaterialerne anvendes til, og hvor de stammer fra.

I fredningsstyrelsens publikation "Råstofindvinding på havbunden, 1979" er den samlede produktion af tilslagsmaterialer på baggrund af cementforbruget angivet for 1975 til 8 millioner m<sup>3</sup>, og for 1976 til 8,8 millioner m<sup>3</sup>.

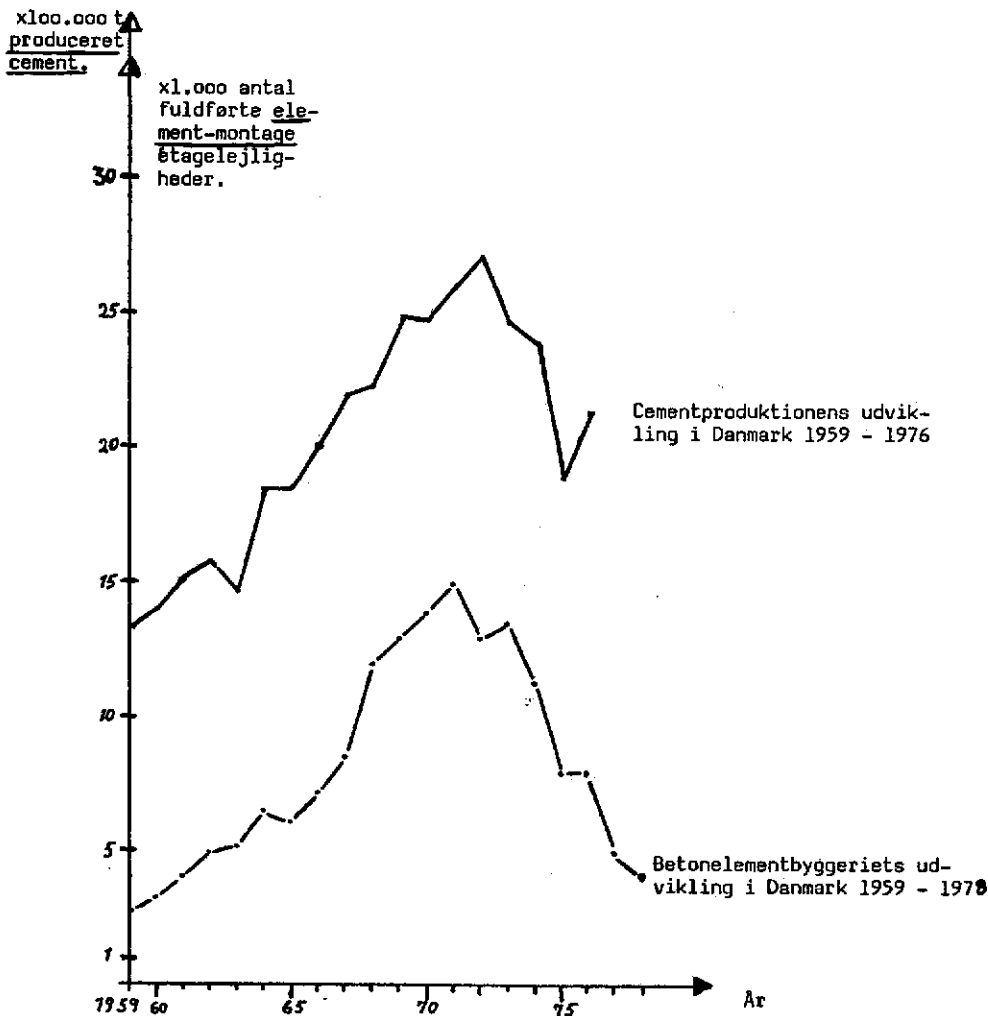
En rundspørge blandt medlemmerne af Dansk Fabriksbetonforening, Betonelementforeningen og Landsforeningen Dansk Betonindustri er gengivet i publikationen. Det fremgår af denne undersøgelse, at havbundsmaterialerne udgør ca. 20%, landmaterialer ca. 60%, kystmaterialer (det vil sige materialer fra strandbredder og strandvolde) ca. 15% og nedknust granit ca. 6% for årene 1975 og 76.

Efter en oplysning fra Ålborg Portland Cementfabrik skønnes, at ca. 40% af tilslagsmaterialerne anvendes til boligbyggeri, ca. 40% til erhvervs- og produktionsbyggeri og resten, knap 20%, til anlægsarbejder. Med cementforbruget som indikator for forbruget af tilslagsmaterialer, har samme virksomhed beregnet, at tendensen fra 1930'erne og indtil 1970 var en årlig vækst på 4,2%. Det samlede forbrug afhænger imidlertid i høj grad af bygge- og anlægsaktiviteten. Det må således formodes, at væksten bliver betydelig mindre, eventuelt at der sker en stagnation eller formindskelse.

Fredningsstyrelsen har sammenholdt CtO/Ålborg Portlands oplysninger over produceret mængde cement fra 1959 - 1979, med statistiske oplysninger fra Danmarks Statistik om antallet af fuldførte lejligheder fra 1959 - 1978 og brancheorganisationers og branchefolks skøn over fordelingen af forskellige byggemetoders markedsandel.



Det fremgår bl.a. heraf, at der siden 1972 er sket et fald i den årligt producerede mængde cement, samt at udviklingsforløbet er parallelt for den årligt producerede mængde cement og det årligt antal fuldførte elementmontagelejligheder.



Kilde: "Beton i den danske hverdag", pjece udgivet af CtO/Ålborg Portland, samt Statistisk lo års-oversigt & div. branchefolks- og organisationers skøn over fordelingen af de forsk. byggemetoders markedsandel.

### Kortlægning og planlægning.

Gennem amtskommunernes, fredningsstyrelsens og miljønakenævnets tilladelsespraksis vil de offentlige myndigheder kunne påvirke den fremtidige udvikling. Dette vil endvidere kunne ske dels gennem den sektorplanlægning, som foretages i medfør af råstofloven, dels gennem den sammenfattende regionplanlægning, som afvejer de forskellige arealinteresser.

Etableringen af en råstofforsyningsplanlægning, som må hvile på det aktuelle forbrug af tilslagsmaterialer og det behov, der fremtidig skønnes at ville være, stiller betydelige krav til fremsynethed og langsigtet planlægning, såvel i produktionsleddet, som i forbrugsleddet og i den offentlige administration.

Specielt på søområdet vil den kortlægning, fredningsstyrelsen foretager, kunne medvirke til en øget indvinding af sømaterialer. Såfremt der gennem kortlægningen opdages større forekomster, kan disse i takt med stigende investeringer i ral- og sandsugererhvervet medvirke til et øget forbrug af tilslagsmaterialer fra søen.

Medens kortlægningen af råstoffer på landjorden samt udarbejdelsen af indvindingsplanerne påhviler amtsrådene/hovedstadsrådet, skal fredningsstyrelsen forestå kortlægningen af havbundens råstoffer og udarbejde indvindingsplanerne for disse. Den samlede forsyningsplanlægning påhviler fredningsstyrelsen.

Til planlægning og styring af havbundskortlægningen er oprettet et særligt kontor for havbundsundersøgelser (9. kontor), medens de øvrige opgaver varetages af råstofkontoret (8. kontor) i samarbejde med blandt andre Danmarks Geologiske Undersøgelse.

Havbundskortlægningen omfatter ifølge råstofloven en kortlægning af sten, grus, sand, ler, kalk, kridt m.m. på havbunden og i dennes undergrund efter deres art, mængde og beliggenhed. I løbet af det første år siden havbundskontorets oprettelse den 1.9.1978 er der gennemført, en række forsøgsundersøgelser m.v., som skal indgå i grundlaget for tilrettelæggelsen af den egentlige kortlægning. Forsøgsundersøgelserne har foruden organisationsmæssige erfaringer givet praktisk anvendelige resultater, der umiddelbart kan indgå i den samlede kortlægning.

Af bemærkningerne til råstofloven fremgår, at der i princippet er to muligheder for organisationen af havbundskortlægningen, nemlig enten at staten investerer i undersøgelsesudstyr og ansætter det nødvendige personale, eller at undersøgelserne helt eller delvis udføres som rekvireret arbejde af private firmaer eller offentlige institutioner. Forsøgsundersøgelserne har derfor tilstræbt at belyse flest mulige af såvel de administrative som de tekniske problemstillinger, der er knyttet til havbundskortlægningen. Overvejelserne er endnu ikke afsluttet, men kontoret for havbundsundersøgelser vil antagelig anbefale, at undersøgelserne til søs overvejende udføres af firmaer og institutioner uden for fredningsstyrelsen, idet havbundskontoret dog udfører en mindre del af de praktiske undersøgelser med det formål at opnå den fornødne faglige og praktiske indsigt.

Kortlægningen vil blive gennemført som en række selvstændige undersøgelser af delområder, og resultaterne, der skal indgå i den landsdækkende kortlægning, vil blive publiceret løbende, så de straks kan anvendes.

Som det første undersøgelsesområde er valgt farvandene mellem Jylland, Fyn og Sjælland, syd for linjen Ebeltoft - Sjællands Odde og nord for Korsør - Nyborg. Dette område

har en central forsyningsmæssig placering og er tillige vel-egnet som forsøgsområde, idet de geologiske oplysninger fra tilgrænsende landområder muliggør en udvælgelse af delområder, der kræver et særligt tæt undersøgelsesnet, og delområder, hvor et mere åbent net kan benyttes. Denne afgrænsning og prioritering af delområder baseres på en forhånds-vurdering af de jordartsmæssige forhold, en geologisk model, som er tilvejebragt ved en sammenstilling af eksisterende oplysninger, og som vil blive bekræftet eller modificeret ved de praktiske undersøgelser. Den geologiske model skal dels medvirke til en hensigtsmæssig anvendelse af de investerede undersøgelsesmidler, dels - i justeret form - indgå i grundlaget for beregningen af råstoffressourcernes omfang og kvalitet. Det er derfor af stor betydning, at den geologiske model allerede i første omgang bliver så god som mulig. For at opnå dette vil fredningsstyrelsen gerne have andel i den viden om råstofforekomster på havbunden, som private firmaer og offentlige myndigheder er i besiddelse af. Her tænkes naturligvis i første række på råstofproducenterne. d.v.s. ral- og sandsugere samt stenfiskere, men også på entreprenørfirmaer, bro- og havnebyggere og andre, som i årenes løb har indsamlet værdifulde oplysninger om havbundens ressourcer.

Indsamlingen og sammenstillingen af eksisterende data er indledningen til den 1. fase i undersøgelserne og danner udgangspunkt for undersøgelserne til søs, der omfatter geofysiske målinger, indsamling af bundprøver og udførelse af boringer. I første undersøgelsesfase udføres oversigtsmæssige generelle undersøgelser med det formål at afgrænse områder af råstoffmæssig interesse fra områder, hvor sådanne interesser - med den nuværende teknologi og de aktuelle markedsforhold - ikke skønnes at være tilstede.

I fase 2 gennemføres en nærmere undersøgelse af de potentielle ressourceområder i prioriteringsrækkefølge, idet der udføres supplerende geofysiske målinger og prøveoptagninger,

således at forekomsternes art, mængde, beliggenhed og tilgængelighed kan beskrives. Hermed er kortlægningen dog ikke tilendebragt, idet den ressourceøkonomiske planlægning, jfr. råstofflovens § 6 forudsætter et nærmere kendskab til råstofforekomsternes kvalitet. Der må derfor i den 3. undersøgelsesfase gennemføres en nærmere kortlægning af råstoffkvaliteten, hvad der, på linie med angivelser af mængder og tilgængelighed, også må have råstofproducenter- og brugeres interesse.

De tre undersøgelsesfaser tænkes normalt gennemført i løbet af 2-3 år, men da flere delområder tages i arbejde samtidig, vil der til stadighed være fase 1-, 2- og 3-undersøgelser igang. I forsøgsåret er der udført både fase 1- og 2-undersøgelser, hvad der har været lidt problematisk, idet det har været nødvendigt at påbegynde detailundersøgelserne (fase 2) endnu inden resultaterne af de oversigtsmæssige undersøgelser var færdigbearbejdede. Det forholdsvis gode kendskab til forsøgsområdets generelle geologi og erfaringerne fra ressourceundersøgelserne i Storebælt har dog muliggjort en hastig, foreløbig analyse.

De geofysiske undersøgelser er udført med 3 forskellige skibe og mandskaber. Undersøgelsesudstyret har dækket et bredt sortiment af gængse instrumenter, og alle hold har foruden de forskellige undersøgelsesområder sejlet en fælles linie, hvad der muliggør en direkte sammenligning af metoder og udstyr. Der vil ialt i sommeren 1979 blive sejlet ca. 3000 liniekilometer, dækkende ca. 2000 km<sup>2</sup>. Boringer og bundprøveoptagninger er hovedsagelig udført af Geoteknisk Institut. Dog har Sveriges Geologiske Undersøgelse udført et mindre antal boringer og prøveoptagninger med eget udstyr. Ialt er afprøvet 2 vibrationsbor, 1 gravitetsbor og 7 bundhentere.

Resultatet af undersøgelserne til søs, der afsluttes ca. 1.1.1979, vil blive bearbejdet i løbet af efteråret og vinteren. Den generelle fase 1-undersøgelse dækker Århusbug-

ten og farvandene nord, øst og syd for Samsø. Derimod mangler farvandene vest og sydvest for Samsø, og fase 2-undersøgelser er kun gennemført i mindre områder sydøst for Samsø.

Ved den afsluttende bearbejdelse og offentliggørelse af de indsamlede data såvel som ved tilrettelæggelsen af kvalitetsundersøgelserne i fase 3 vil det være hensigtsmæssigt, at der i videst mulig omfang tages hensyn til alle relevante brugerinteresser, ligesom kortenes udformning og indhold så vidt muligt bør imødekomme såvel administrative som praktiske krav. Kortoret for havbundsundersøgelser vil derfor invitere til en debat om disse emner, så snart udkast til nærmere udformning af kortene foreligger.

Man har forestillet sig, at kortlægningen vil vare ca. 10 år og koste ca. 50 millioner kroner. Dette skøn hviler dog på en række forudsætninger, som måske ikke alle holder. Det er dog havbundskontorets hensigt gennem en prioritering af områderne og en nøje vurdering af ambitionsniveauet i undersøgelserne så vidt muligt at overholde den skønnede tids- horisont og beløbsramme.

#### Kortlægning på land.

På samme måde som havbunds-kortlægningen er kortlægningen på land delt i tre faser.

Fase I består i en sammenstilling af den eksisterende viden i foreløbige ressourcekort. Dette skulle vise, hvilke områder det på forhånd må anses for mest lønnende at undersøge nærmere. Dette skulle give oplysninger om art og beliggenhed af formodede råstofforekomster, men ikke - eller kun i ringe grad - oplysninger om mængden og kvaliteten af forekomsterne.

Det er denne fase, som nærmere er beskrevet i "Vejledning- i råstofkortlægning", fredningsstyrelsen 1977.

Fase II består i detailundersøgelser med henblik på kvalitets- og mængdebedømmelser. Denne fase består af geo-

logiske feltundersøgelser, lokalitetsbesøg, borer, geoelektriske undersøgelser og laboratorieundersøgelser, der skal belyse jordlagenes sammensætning og materialernes egenskaber.

Fase III består i en ajourføring, således at alle oplysninger om forekomster nyttiggøres i råstofplanlægningen med henblik på en løbende forbedring af datagrundlaget.

Fase I forventes at strække sig over ca. 3 år fra dens igangsættelse i den enkelte amtskommune, og fredningsstyrelsen har udsendt en bekendtgørelse, der sikrer, at resultaterne kan benyttes på landsplan, d.v.s. at resultaterne bliver sammenstillelige.

I fase I skal amtskommunerne sammenstille 3 kategorier af kort, benævnt A, B og C-kort.

A-kortene omfatter de geologiske kort, der er fremstillet som led i den hydrogeologiske kortlægning, jfr. vejledning fra miljøstyrelsen nr. 2, 1975. Kortene er først og fremmest geologiske basisdatakort, d.v.s. cirkeldiagramkort, som viser flest mulige af de anvendelige borer, der findes i DGU's borearkiv, desuden indgår grundvandskemiske basiskort, der viser grundvandets indhold af opløste stoffer, vandrejsningskort, kort over de vandførende lags hydrauliske ledningsevne, samt kort over prækvartærlagene, overflade- og strukturgeologiske kort, der viser jordlagenes stilling og beliggenhed.

B-kortene er analysekort, der fremstilles på grundlag af det arkivmateriale, der findes i amtskommunerne og DGU'S forskellige arkiver. B-kortene omfatter forskellige typer af kort, der viser fordelingen af de forskellige råstofrelevante jordarter, kort, som viser kendte nuværende og tidligere råstofgrave, overfladekonturkort, kort som samler alle tilgængelige oplysninger om kendte lokaliteter med forekomster af råstoffer, og såkaldte morfogenetiske kort, som kombinerer en analyse af terrænforhold med de

planlægning og råstofhusholdningssynspunkter på et senere tidspunkt vil kunne indpasses.

#### Ressourcer og råstofhusholdning.

Der er i de seneste år, bl.a. i fredningsstyrelsens publikationer, angivet forskellige skøn over, hvor store vore ressourcer er.

Herudover får fredningsstyrelsen gennem råstofadministrationen til stadighed en større viden om problemerne og en føling med, hvorledes forsyningssituationen for de enkelte materialer er i de enkelte dele af landet.

Med hensyn til tilslagsmaterialer er situationen den, at det vil være en forudsætning for bevarelse af betonindustriens position, at man til stadighed kan finde og dermed erhverve råstoffer af høj kvalitet.

I et indlæg i "Dansk Betonindustri" 15. december 1978 har direktør H. K. Thrane, Århus i denne forbindelse defineret råstoffer af høj kvalitet, som omfattende tre delkomponenter, nemlig den tekniske kvalitet, herunder en række specifikke egenskaber, såsom kornkurve, kornform, mineralogi m.v. og den mængdemæssige leveringssikkerhed samt prisen på råstoffet.

Den samme tankegang ligger til dels bag "Ingeniørens" leder den 20. april 1979, hvor fredningsstyrelsens beretning om råstofindvinding på havbunden anmeldes under overskriften "Ressourcer nok, men til hvilken pris". I lederen slår man bl.a. til lyd for, at grusnormerne udbygges med regler, der fastsætter maksimumkrav for hvor gode materialer, der må anvendes. Man medgiver, hvad der fremgår af rapporten, at et regelarbejde på anvendelsesområder, der kræver store mængder af mindre gode materialekvaliteter, kan være berettiget,



men efterlyser, at fredningsstyrelsen skyndsomst går videre og udarbejder et loft for brug af samtlige materialer i bygge- og anlægsbranchen. Først da, mener lederen, kan man vurdere betydningen af de mange ressourcer på havbunden, af alternative materialer i form af affaldsprodukter og værnet om vore grus- og stenreserver i åse og bakkedrag.

Forstået på denne måde bliver ressourceproblemet således en del af begrebet råstofhusholdning, således som det fremgår af råstoflovens formålsparagraf og af § 6.

I råstofhusholdningen er problemstillingerne særdeles bredspektrede. Mange forhold må tages i betragtning, såsom spørgsmålet og konsekvenser indenfor arealanvendelsen, den produktionsmæssige side, forbrugernes behov, den tekniske og økonomiske udvikling, energi- og transportpriser, erhvervslivets investeringer, branchestrukturen, forskningsindsats og så videre.

Fredningsstyrelsen er igang med en dialog med de store forbrugerenheder, der trækker på vore råstoffressourcer, vejsektoren og byggesektoren, for at finde frem til et grundlag for de normer og regler, der nu og fremtidigt skal fastsættes for brugere af råstoffer. For at få fastlagt disse regler må offentlige myndigheder, erhvervsvirksomheder, planlæggere, forskningsinstitutioner og brancheorganisationer deltage, således at man vil være i stand til, at opstille kravene og afveje de forskellige hensyn.

#### Forskningstemaer.

Fredningsstyrelsen vil til efteråret udgive en publikation om teknologi og råstofhusholdning, hvori forskellige forskningstemaer og undersøgelsesområder beskrives. I publikationen vil man behandle de råstofindvindende produktioner, de råstofforarbejdende produktioner og de råstofforbrugende industrier. Disse industriers råstofanvendelse, deres samspil, samt de faktorer, der udefra er bestemmende for råstofsektorens udviklingsbetindelser, må samlet indgå i fred-

ningsstyrelsens udrednings,- undersøgelses- og forskningsvirksomhed. Målet med dette vil være at etablere den fornødne viden med henblik på, at fastsætte regler om mængder og kvaliteter af de råstoffer, som anvendes, at udarbejde indvindings- og forsyningsplanlægning, der løbende forholder sig til den aktuelle efterspørgsel og at etablere en oplysningsvirksomhed om forsyningsituationen, men henblik på at igangsætte et udviklingsarbejde omkring materialeforskning og materialeanvendelse i de berørte industrier.

Dette og andre forestående publikationer bl.a. om analyser af arealanvendelsesinteresser i relation til råstofindvindingen vil være et nyt grundlag for fredningsstyrelsen, dels til benyttelse i råstofadministrationen og i planlægningen, dels i dialog med erhvervene og de berørte industrier.

DANSK BETONFORENING  
TEKNOLOGISK INSTITUT  
BYGGETEKNIK  
GREGERSENSVEJ  
2630 TÅSTRUP TLF.: (02) 996611

PROJEKTER VEDRØRENDE UNDERSØGELSE OG KLASSIFIKATION  
AF SAND OG STEN TIL BETON

af

Arne Damgård Jensen, civilingeniør

JULI 1979

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
Indledning	53
Massefyldeundersøgelse af sten til beton	54
Undersøgelse og klassifikation af sand til beton	58
Standardundersøgelser	59
Vandbehov	59
Alkalikiselreaktivitet	65
Afslutning	67
Litteratur	70

PROJEKTER VEDRØRENDE UNDERSØGELSE OG  
KLASSIFIKATION AF SAND OG STEN TIL BETON

Indledning

Byggeteknik har inden for de seneste år gennemført 2 projekter vedrørende tilslagsmaterialer til beton. Projekterne, der er støttet af Teknologirådet, har følgende titler

- Massefyldeundersøgelse af sten til beton og
- Undersøgelse og klassifikation af danske sandforekomster.

Det første projekt er afsluttet i begyndelsen af 1978, mens det andet afsluttes inden udgangen af 1979, men de fleste resultater foreligger på nuværende tidspunkt. Det første projekt vil kort blive omtalt i det følgende, mens det andet vil blive mere detaljeret gennemgået. Men først lidt om baggrunden for projekterne.

Nogle af vore tilslagsmaterialer findes i hvert fald i lokale områder af Danmark i meget begrænset mængde, ligesom nogle af de tidligere mest anvendte materialer enten som følge af tømte grave eller fredning ikke længere anvendes. Det er derfor nødvendigt, at vi øger vor viden om tilslagsmaterialerne og deres indflydelse på såvel frisk som hårdnet beton, både med henblik på styrke og holdbarhed samt på virkningen af de andre komponenter i betonen, cement, vand og tilsætningsstoffer.

I forbindelse med revisionen af DS 401 (grusnormen) blev en række prøvningsmetoder overvejet og helt eller delvis forkastet, da der ikke forelå den fornødne viden om enten prøvemeterne eller de nødvendige tilhørende kravkriterier.

Udenlandske prøvningsmetoder er ved at vinde indpas i danske betonbeskrivelser uden at man først har sikret sig den fornødne sikkerhed for, at metoderne med tilhørende kravspecifikationer er rimelige for danske tilslagsmaterialer.

De krav, der traditionelt stilles til sand, er få og sandsynligvis tilfældige, i hvert fald overvejende uden betydning for sandets betonteknologiske egenskaber. Iøvrigt har det vist sig, at sandets bidrag til betonens holdbarhedsegenskaber er større end tidligere antaget.

#### Massefyldeundersøgelse af sten til beton

I forbindelse med revisionen af DS 401 blev det foreslået at basere en klassifikation af sten til beton på indholdet af sten med en massefylde (densitet) under en vis grænse (fx  $2.50 \text{ t/m}^3$ ). Byggeteknik indsamlede sten fra ca. 100 lokaliteter (grusgrave og havne), der hver leverede op til 3 forskellige varearter.

Alle indsamlede stenprøver er sorteret i en række densitetsintervaller, efter at stenene er bragt i vandmættet, overfladetør tilstand. Først er stenene sorteret på  $2.50 \text{ t/m}^3$ , flyddet herfra (sten lettere end  $2.50 \text{ t/m}^3$ ) er sorteret på  $2.40 \text{ t/m}^3$ , flyddet herfra på  $2.30 \text{ t/m}^3$ , og endelig er flyddet herfra i et vist omfang sorteret på  $2.20 \text{ t/m}^3$ . Efter sorteringen er stenene tørret og vejede, og alle resultater er henført til vægt i tør tilstand.

Sorteringen af 8 - 16 og 16 - 32 mm sten er udført i en WEMCO HEAVY MEDIA separator med en tung væske bestående af en suspension (vandig pulveropslemning) af ca. 70% ferrosilicium og ca. 30% magnetit. Sorteringen er foretaget automatisk i et pilotanlæg.

4 - 8 mm sten er sorteret manuelt i en blanding af bromoform og lugtløs terpentin, indstillet på de ønskede densiteter.

Prøvemængden har været ca. 2000 korn, svarende til 25 kg 16 - 32 mm, 1.5 kg 8 - 16 mm og 300 g 4 - 8 mm sten.

Efter sorteringen er der foretaget absorptionsbestemmelse på de enkelte densitetsfraktioner. På fraktioner lettere end  $2.50 \text{ t/m}^3$  er indholdet af skadelige korn bestemt efter "CtO-metoden".

Tabel 1 viser antallet af stenmaterialer, der er indsamlet i de enkelte landsdele, fordelt på bakkematerialer, sømaterialer og strandmaterialer.

Tabel 2 viser densitetsfordelingen i vægtprocent, fordelt på bakke-, sø- og strandmaterialer. Tabellen viser, som de følgende tabeller 3 og 4, gennemsnitsværdier. Spredning og variationsbredde er ikke medtaget, men der er her tale om meget store tal. Således varierer indholdet af sten lettere end  $2.50 \text{ t/m}^3$  for såvel bakke- som sømaterialer mellem 3 og 48%.

Tabel 3 viser absorptionen for de enkelte densitetsintervaller. Ikke overraskende ses stigende absorption med faldende densitet. Der findes ingen data for, hvor høje absorptioner der er acceptable i holdbarhedsmæssig henseende, men værdier over ca. 2% betragtes vel ofte som "høje".

Tabel 4 viser de densitetssorterede stens indhold af skadelige korn, dvs. porøse, delvis porøse og smuldrende korn, bedømt visuelt. Der er stigende indhold med faldende densitet. Mellem  $2.50$  og  $2.40 \text{ t/m}^3$  ses et varierende indhold af skadelige korn. Under  $2.40 \text{ t/m}^3$  er næsten alle korn, bortset fra strandmaterialer, skadelige.

	Bakke	Sø	Strand
Jylland	35	12	6
Fyn	11	6	0
Sjælland	20	13	0
Sum	66	31	6
Ialt	103		

Tabel 1: Indsamlede materialer til projektet:  
Massefyldeundersøgelse af sten til beton.

Oprindelse	Fraktion	>2,5	<2,5	2,5 - 2,4	2,4 - 2,3	2,3 - 2,2	<2,20
Bakke- materialer	4/8	80,9	19,1	9,3	3,0	1,7	5,2
	8/16	76,7	23,3	12,4	3,5	2,8	5,4
	15/32	76,1	23,9	11,8	6,0	4,3	n.d.
Sø- materialer	4/8	89,0	11,0	6,8	2,1	1,0	1,7
	8/16	85,7	14,3	9,1	3,0	1,1	1,3
	16/32	87,1	12,9	8,4	2,8	(1,4)	n.d.
Strand- materialer	4/8	83,5	16,5	9,4	3,1	1,2	2,9
	8/16	80,7	19,3	11,3	3,5	1,3	3,1
	16/32	86,5	13,5	8,9	3,0	2,2	1,3

Tabel 2: Fordeling af materialer i vægtprocent  
med tør densitet.



Oprindelse	Fraktion	> 2,5	< 2,5	2,5 - 2,4	2,4 - 2,3	2,3 - 2,2	< 2,20
Bakke- materialer	4/8	0,9	10,7	4,4	7,5	11,1	24,1
	8/16	0,8	8,4	3,1	6,5	9,5	22,4
	16/32	n.d.	6,9	2,4	4,8	12,9	n.d.
Sø- materialer	4/8	0,8	6,9	3,5	5,9	13,3	20,9
	8/16	0,7	6,8	3,2	6,3	12,3	20,6
	16/32	n.d.	4,4	2,7	5,9	11,2	n.d.
Strand- materialer	4/8	0,7	8,6	3,2	7,5	10,6	30,7
	8/16	0,7	6,4	2,3	7,5	12,4	21,7
	16/32	n.d.	4,0	1,9	5,7	11,9	20,0

Tabel 3: Fordeling af materialer i vægtprocent absorption.

Oprindelse	Fraktion	> 2,5	< 2,5	2,5 - 2,4	2,4 - 2,3	2,3 - 2,2	< 2,20
Bakke- materialer	4/8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	8/16	-	19,8	74,7	92,7	98,7	100
	16/32	n.d.	17,2	73,3	84,4	97,7	n.d.
Sø- materialer	4/8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	8/16	n.d.	10,7	66,7	95,3	97,9	100
	16/32	n.d.	9,9	64,4	77,5	97,1	n.d.
Strand- materialer	4/8	-	-	-	-	-	-
	8/16	-	12,6	57,2	73,8	96,5	100
	16/32	-	8,1	37,9	63,3	96,4	100

Tabel 4: Fordeling af materialer i vægtprocent "skadelige korn".

### Undersøgelse og klassifikation af sand til beton

Det har vist sig, at sandet i langt højere grad end tidligere antaget bidrager til betons holdbarhedsegenskaber, og det har endvidere vist sig, at de egenskabsmålinger, der traditionelt foretages på sand til beton, kun i ringe grad er egnede til at forudsige, hvorledes et givet sand vil fungere i beton. Det er projektets formål at fremskaffe et forbedret grundlag for en anvendelsesorienteret bedømmelse af sand med henblik på vurdering af egnetheden til beton.

Som det fremgår af tabel 5 omfatter undersøgelsen 79 lokaliteter, overvejende fra leverandører der normalt leverer sand til beton. Fra hver af lokaliteterne er indsamlet ca. 50 kg sand.

Inden nedennævnte undersøgelse frasigtes de indsamlede sandmaterialer partikler større end 4 mm.

- kornkurve og uensformighedstal
- SE-værdi (sandækvivalentet)
- densitet
- absorption
- kalkindhold
- humusreaktion.

Følgende mere specielle prøvninger gennemføres

- indflydelse på betonens vandbehov
- alkalikiselreaktivitet
- indflydelse på luftindblandingsmidlers effektivitet.

De to sidstnævnte udføres kun på en del - 35 stk. - af de indsamlede sand.

### Standardundersøgelser

I Fig. 1, 2 og 3 er histogramform vist i nogle af undersøgelsesens resultater, opdelt på bakkematerialer og sø/strandmaterialer.

SE-værdien (fig. 1) omhandler materialets indhold af fine partikler (ler-filler). Jo højere værdi jo mindre finstof. Værdier større end 90 opnås af meget fillerfattige materialer. Materialer med SE-værdi under 75 vil normalt være for fillerrige til beton.

Absorptionen er angivet i fig. 2. Der ses, at bakkematerialer har værdier op til 1.5%, dog med de fleste materialer liggende mellem 0.5 og 1.0%. Sømateriale har oftest værdier på omkring 0.25%, men der kan ofte findes værdier over 0.75%.

Kalkindholdet (fig. 3) i de undersøgte materialer varierer mellem 0 og 28% for bakkematerialer med værdierne under 10%, overvejende stammende fra jyske materialer. Værdier større end 16% er kun fundet på sjællandske materialer. Sømateriales kalkindhold er oftest lavt, dvs. mindre end 5%, men værdier helt op til 17% er fundet. Kun sjællandske sømaterialer er fundet med kalkindhold større end 7%.

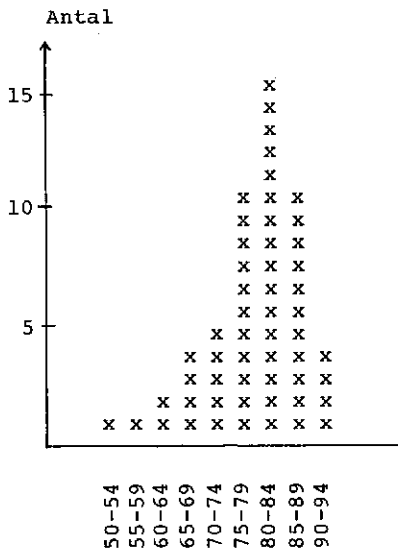
### Vandbehov

Vandbehovet er målt efter ASTM C 618 og er bestemt som den sandmængde, der skal tilsættes 600 gram cement og 360 gram vand for at opnå en bestemt konsistens. Bestemmelsen foretages ved, at der udføres blandinger med 3 givne sandmængder (1600 og 1900 samt 1900 eller 1300 gram). Konsistensen bestemmes for de 3 mængder og indtegnes i diagram, hvorefter den aktuelle sandmængde findes ved interpolation, se fig. 4.

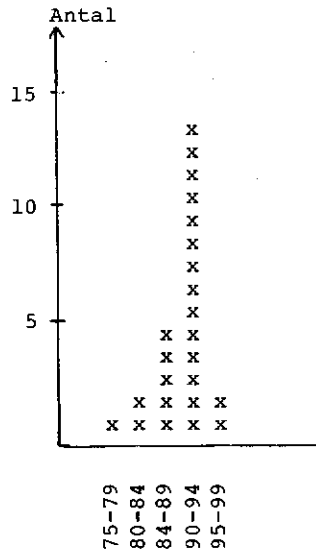
De opnåede resultater fremgår af fig. 5. Mere indblandet sand betyder lavere vandbehov. Det ses, at der er meget stor variation på sands vandbehov. De fleste betonsand ses at ha-

	Bakke	Sø/strand
Jylland	29	9
Fyn	6	3
Sjælland m.v.	20	12
Sum	55	24
Ialt	79	

Tabel 5: Indsamlede materialer til projektet: Undersøgelse og klassifikation af danske sandforekomster.

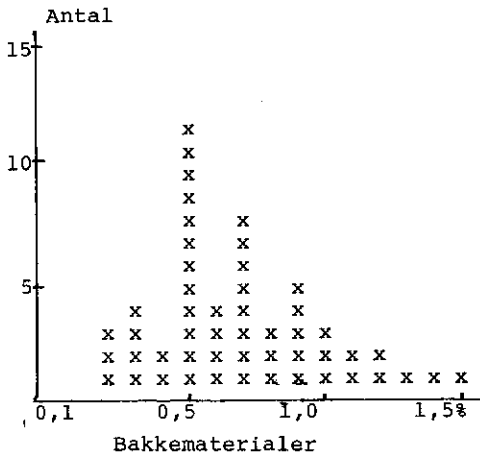


Bakkematerialier

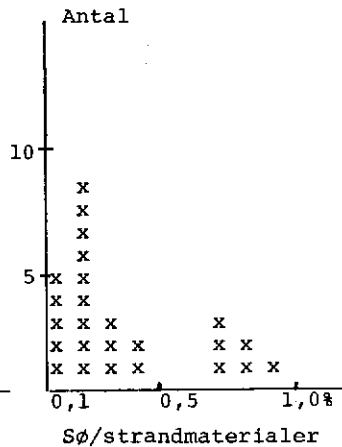


Sjøstrandmaterialier

Fig. 1: Histogram over SE-verdier



Bakkematerialier



Sjøstrandmaterialier

Fig. 2: Histogram over absorption

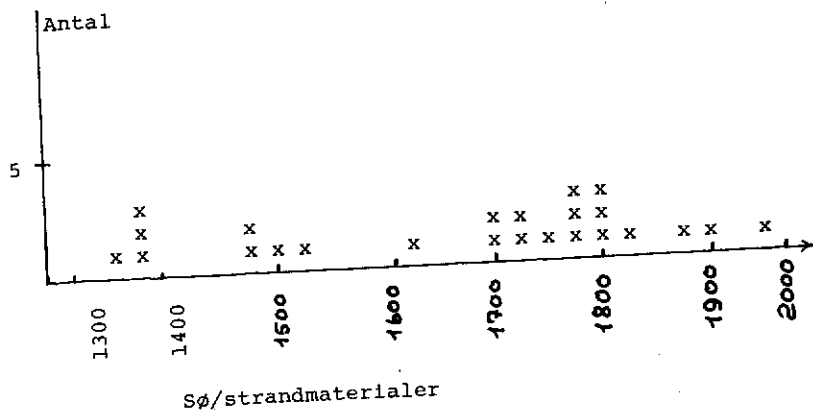
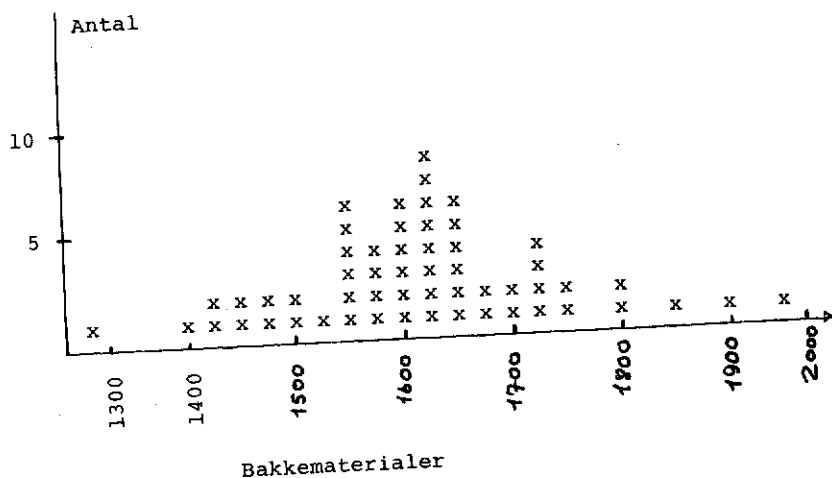


Fig. 5: Histogram over vandbehov.  
Mængde sand, der skal indblandes for at opnå en given konsistens (ASTM C 618).

ve givet en aktuel sandmængde på 1400 til 1750 gram, men værdier fra ca. 1300 til ca. 2000 gram er fundet. Sand med værdier på under 1500 gram kan ikke være særlig velegnede til beton, hvortil der stilles krav om maksimalt vandcementtal. Det må synes rimeligt, at man ved valg af sand til sådanne betoner på forhånd sikrer sig, at man vælger et sand med rimeligt lavt eller helst lavest muligt vandbehov.

#### Alkalikiselreaktivitet

Alkalikiselreaktiviteten vurderes efter lagring af mørtelprismer i 50°C mættet NaCl-opløsning (natriumchlorid). Prismernes længdeændring følges og de inspiceres for revnedannelser. Denne undersøgelse er, som tidligere nævnt, udført på 35 af de indsamlede sand. På de samme sand er bestemt mængden af alkaliopløseligt materiale på fraktionerne 1-2 og 2-4 mm efter en tysk metode, der har vundet nogen udbredelse i Danmark til trods for, at vore materialer normalt afviger meget fra de tyske.

Ved mørtelprismemetoden støbes et antal 40 x 40 x 160 mm prismes med blandingsforholdet 1 del cement : 3 dele sand (vægtdele) og vandcementtal 0.50. Der udstøbes prismes såvel med som uden luftindblanding. Efter 4 ugers vandlagring ved 20°C lagres 3 prismes i 8 uger i 50°C mættet NaCl og 3 i 50°C vand såvel af prismes med og uden indblandet luft. Prismernes længde måles og inspiceres 0, 1, 2, 3, 4, 6 og 8 uger efter lagringens start.

I fig. 6 er vist 3 eksempler på længdeudvidelse af prismes lagret i 50°C mættet NaCl. Klart udsagn om forløbet haves efter 2-4 uger. Ingen prismes lagret i 50°C vand viste tegn på ekspansion i måleperioden.

Luftindblandede mørtler viser generelt en ekspansion, der er 25-50% mindre end de ikke-luftindblandede.

Synlige revnedannelser i prismes opstår ved 1.5 - 2.0 o/oo forlængelse.

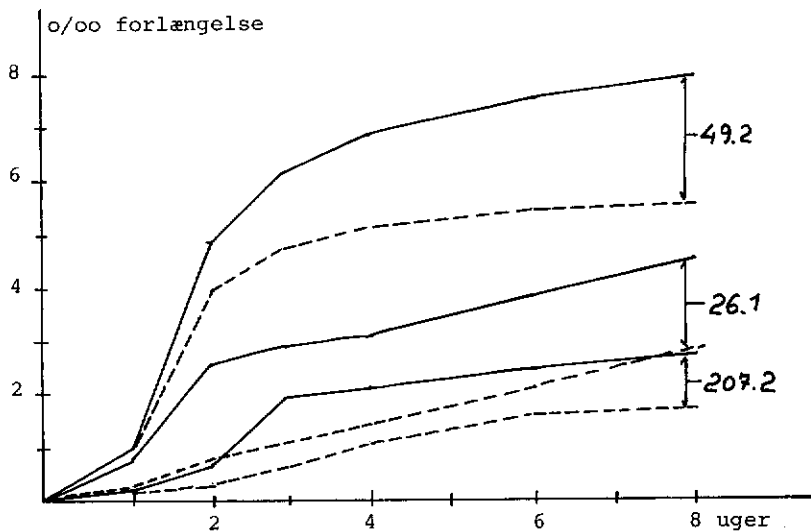


Fig. 6: 3 eksempler på ekspansion af mørtelprismer lagret i 50°C mættet NaCl-opløsning.

----- luftindblandet

\_\_\_\_\_ ikke-luftindblandet.

Sand nr. 26.1: Sømateriale, Jylland

Sand nr. 49.2: Bakkemateriale, Jylland

Sand nr. 207.2: Bakkemateriale, Sjælland



I fig. 7 er angivet 4 forskellige grader af forlængelser af prismerne, svarende til henholdsvis 0-0.5 o/oo, 0.5-1.5 o/oo, 1.5-3.0 o/oo og  $> 3.0$  o/oo efter 8 ugers lagring. I tabel 6 er de 35 undersøgte sand placeres i disse 4 grupper opdelt på bakke- henholdsvis sø/strandmaterialer. Det er de på luftindblandne prismen målte forlængelser, der er lagt til grund for placeringen.

Af tabellen fremgår, at de fleste afprøvede jyske bakkematerialer ikke er særligt reaktive, mens dette ikke er tilfældet for de sjællandske. Sømateriale er normalt ikke reaktive, men - som det ses - undtagelser forekommer.

Mængden af alkaliopløseligt materiale i sandet (fraktionen 1-2 mm) er angivet - sammen med den tilhørende ekspansion af luftindblandede mørtelprismer lagret i 50°C mættet NaCl - i fig. 8.

Der ses i figuren ingen klar sammenhæng mellem de 2 metoder. Den tyske metode vil ikke, hverken med den normalt anvendte grænseværdi på 1.5% eller med andre grænseværdier, kunne adskille reaktive og ikke-reaktive danske sandmaterialer.

### Afslutning

Det har ikke i dette projekt vist sig muligt at få et klart billede af sandets indflydelse på et luftindblandingsstof-effekt. Der vil dog inden projektets afslutning blive gennemført en række luftporemålinger på nogle af de fremstillede mørtelprismer, ligesom nogle frostprøvninger vil blive gennemført.

En række af de vand- og NaCl-lagrede prismen vil blive undersøgt ved strukturanalyse (tyndslib) for at se den indre effekt af alkalikiselreaktionerne, fx ved analyse af flinttype, gelmængde og omfang af mikrorevner.

Den endelige rapport for sandprojektet forventes at foreligge ca. 1. januar 1980.

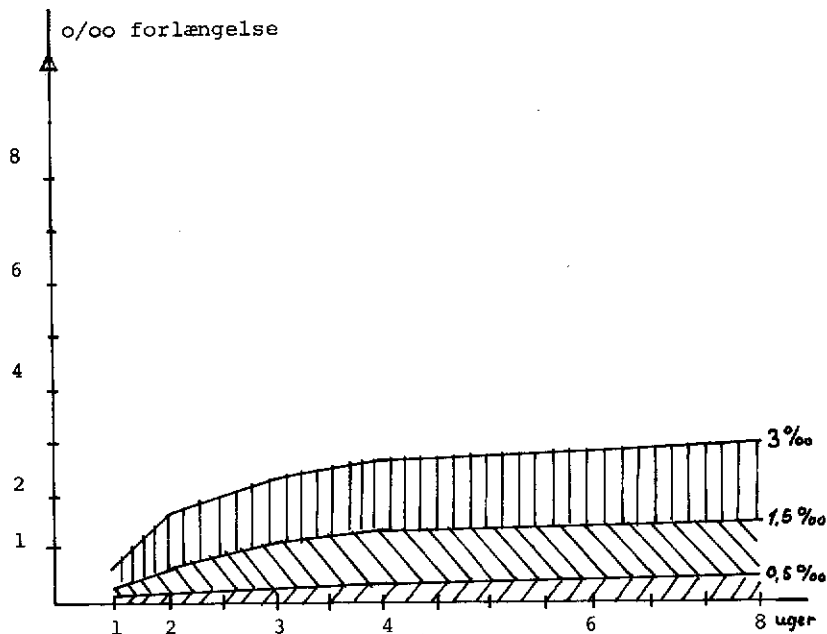


Fig. 7: Længdeændring af luftindblandede mørtelprismer lagret i 50°C mættet NaCl-opløsning.

		Længdeændring			
		0 - 0,5 o/oo	0,5 - 1,5 o/oo	1,5 - 3,0 o/oo	3,0 o/oo
Bakke	Jylland	7	2	0	4
	Fyn	1	1	0	1
	Sjælland m.v.	0	0	7	2
Sø/strand	Jylland	2	0	1	0
	Fyn	2	0	0	0
	Sjælland m.v.	4	0	0	0

Tabel 6: Ekspansion af luftindblandede mørtelprismer lagret i mættet NaCl ved 50°C i 8 uger.

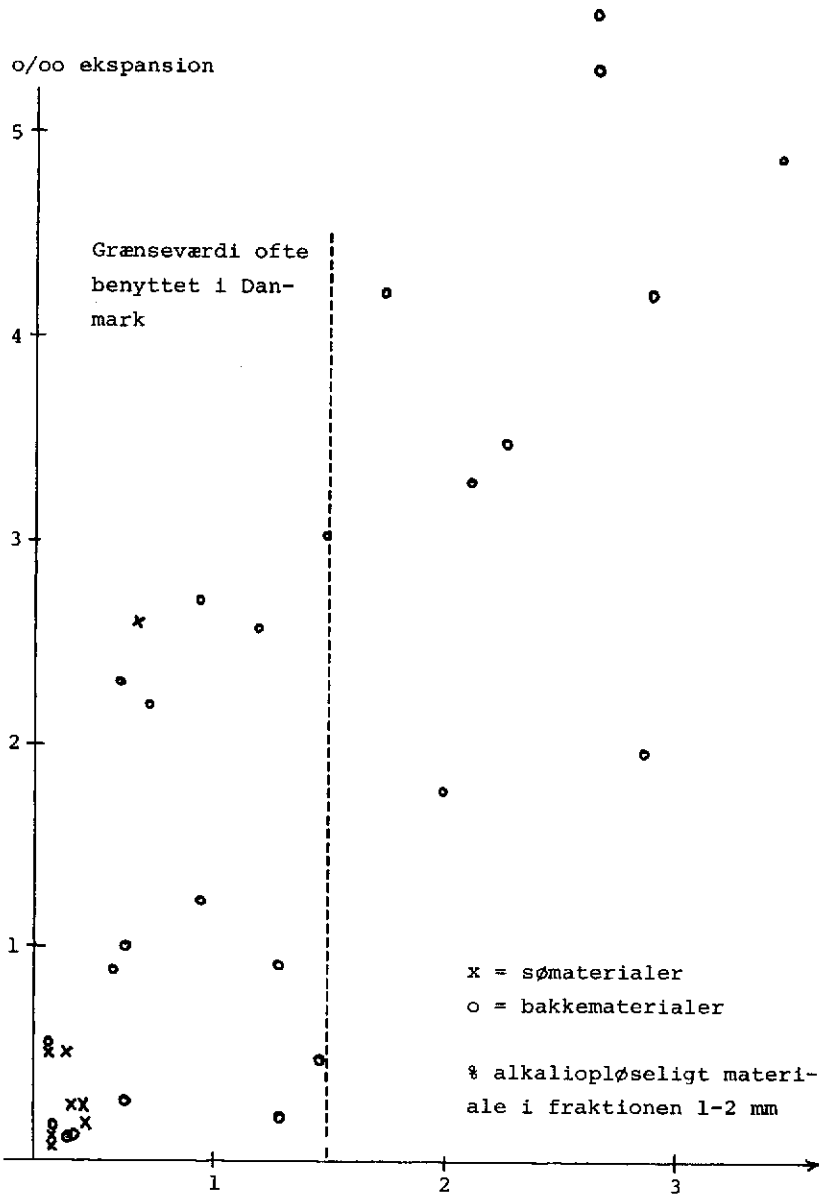


Fig. 8: Indhold af alkaliopløseligt materiale i en sand (fraktionen 1-2 mm) efter tysk metode ctr. ekspansion af luftindblandede mørtelprismer af den pågældende sand, lagret i 8 uger i 50°C mættet NaCl.

Der er på nordisk plan ansøgt om penge fra NORDTEST til en sammenlignende undersøgelse af den af os benyttede undersøgelsesmetode og ASTM-metoden, der kræver noget længere lagringstid til bedømmelse af en sands alkalireaktivitet.

### Litteratur

Teknologisk Institut, P.Christensen og A.Damgård Jensen:  
Massefyldeundersøgelse af sten til beton

Beton 5:75:

Vorbeugende Massnahmen gegen schädigen  
Alkalireaktion im Beton

Cement and Concrete Research, S. Chatterji:

An accerated Method for the Detection of  
Alkali-aggregate reactivities of Aggregates

Alkaliudvalgets publikationer.

CBT rapport 5.75, Höbeda og Johansson:

Kvalitetskriterier för grus- och makadam-  
material.

CBI rapport 4.76, Bergström, Skarendahl, Fagerlund  
och Johansson:

Ballaststudier.

DANSK BETONFORENING  
Laboratoriet for Bygningsmaterialer  
Danmarks tekniske Højskole  
Bygning 118  
2800 Lyngby

Betonuddannelserne i Danmark

af  
Carl le Sage de Fontenay

AUGUST 1979

### Betonuddannelserne i Danmark.

Dansk Betonforening (DBF) tog via sit uddannelsesudvalg i 1978 2 initiativer i forbindelse med betonuddannelserne i Danmark. Det blev besluttet, at der i DBF's regi skulle foretages en kortlægning af alle betonuddannelser i Danmark, og i kølvandet af denne kortlægning skulle der, startende med efteråret 1979, udgives halvårsoversigter over aktuelle betonuddannelsesstilbud. Resultaterne af disse 2 initiativer foreligger nu i form af DBF-publikation 6:79 "Betonuddannelserne i Danmark" og en oversigt "Aktuelle betonuddannelsesstilbud. Efterår 79. Forår 80", der ligeledes er udgivet af DBF.

Betonuddannelserne har i Danmark et samlet omfang på af størrelsesorden 700.000 deltagertimer pr. år; dette tal omfatter kun uddannelse i forbindelse med formaliseret undervisning og inkluderer klassetimer eller forelæsninger, øvelser og opgaveregning, ekskursioner samt et skønnet eller normeret antal timer til hjemmearbejde. Der er i rapporten ikke gjort forsøg på at opgøre mængden af uddannelse, som man kan tilægge sig ved foredrag, studiekredse, tidsskriftlæsning, selvstudier mm. Uddannelserne inden for betontechnologi- og udførelsesområdet omfatter ca. 200.000 deltagertimer pr. år, mens uddannelserne inden for betonkonstruktionsområdet beløber sig til omkring 500.000 deltagertimer pr. år.

Kun ganske få procent af undervisningen gives i form af efteruddannelseskurser; en undtagelse udgør dog specialarbej-

deruddannelserne, som både kan karakteriseres som grunduddannelse og efteruddannelse, da det er specialarbejdernes eneste faglige uddannelse. Det fremgår af undersøgelsen, at en medarbejder, som har en grunduddannelse inden for betonområdet, kun følger et efteruddannelseskursus inden for betonområdet 1 til 2 gange i hele sit arbejdsliv. Der er således endnu et langt skridt at tage, før vi har nået den livslange uddannelse. Dette betyder samtidig, at ny viden har svært ved at nå frem til de beskæftigede i betonsektoren via formaliserede kurser. I det følgende vil jeg skitsere nogle enkelte tanker vedrørende udvikling af betonuddannelserne.

#### Efteruddannelse for ingeniører.

Efteruddannelsen for ingeniører er præget af en række enkeltkurser, som inden for et forholdsvis snævert fagområde giver kursusedtageren et værktøj i hænde, som han kan benytte i sit daglige arbejde. Der har hidtil ikke været tale om en struktureret, niveaudelt videreuddannelse, som kan gøre det muligt for den enkelte ingeniør hen ad vejen at deltage i en række efteruddannelseskurser med det mål at opnå en samlet, såvel teoretisk som praktisk uddannelse inden for betonområdet. En stigende interesse for efteruddannelse og efteruddannelsesplanlægning har bl.a. resulteret i, at en række interesse- og fagorganisationer i den seneste tid har debateret efteruddannelsens muligheder og problemer.

Et mere konkret eksempel på ny initiativer inden for efteruddannelsen er Dansk Beton Institut. DABI har planer om en niveaudelt efteruddannelsesopbygning på betonområdet med kurser, som bygger på en videreførelse af den basisviden, ingeniørerne har fået på ingeniørskolerne.

Debatindlæg og ønsker om efteruddannelse peger i retning af etablering af samlede kompetencegivende efteruddannelsesforløb. Den basisorganiserede efteruddannelse bør primært etableres på grunduddannelsesinstitutionerne, mens den mere tværfaglige og projektor organiserede efteruddannelse måske mest fordelagtigt kan gennemføres på grundlag af et samarbejde mellem interesseorganisationer, grunduddannelsesinstitutioner, myndigheder og efteruddannelsesinstitutioner.

3D-kurser og EUT (efteruddannelse på teknika) er eksempler på et sådant samarbejde. Disse kurser er dog primært basisorganiserede, idet de har deres udgangspunkt i eksisterende kurser på DTH, DIA og teknika. Der skulle være de allerbedste muligheder for at tilrettelægge en struktureret efteruddannelsesvirksomhed i form af 3D- og EUT-kurser som en integreret del af ingeniørskolernes arbejdsfelt. Inden udviklingen kan nå hertil, er der en række problemer, som skal løses; bl. a. bør ingeniørskolerne kunne ansætte supplerende lærerkræfter i det omfang, de medvirker ved efteruddannelsen. Der er tegn i sol og måne på, at der kan ventes en udvikling i denne retning; undervisningsministeriet har bevilget et mindre beløb til udvikling og tilrettelæggelse af kurser på universiteterne og de højere læreanstalter, der specielt henvender sig til færdiguddannede.

#### Specialarbejderuddannelserne og efg-uddannelserne.

Gennem de seneste år er uddannelserne af specialarbejdere blevet opbygget mere systematisk, dels gennem opbygning af uddannelseslinjer på bl.a. bygge- og anlægsområdet, dels gennem etablering af efg-uddannelserne.

Kursusstrukturen er planlagt af Brancheudvalget for bygge og anlæg for uddannelse af specialarbejdere med underudvalget for uddannelse af betonarbejdere som arbejdsudvalg. Uddannelsesstrukturen er tilrettelagt således, at den rummer mulighed for en noget længerevarende erhvervsuddannelse inden for bygge- og anlægsområdet, og således, at det er muligt at skifte til en anden faglinje under uddannelsesforløbet. Desuden rummer kursusstrukturen mulighed for at give specialarbejdere med relevant arbejdspladserfaring en passende videreuddannelse.

Efter et 5 ugers grundkursus for bygge og anlægsområdet kan specialarbejderen vælge mellem 8 faglinjer herunder anlægslinjen, bygningslinjen og betonlinjen. Brancheudvalget har planer om at opdele betonlinjen i 4 hoveduddannelsesforløb, som primært henvender sig til specialarbejdere, der er beskæftigede

- 1) som byggepladsmedarbejdere



- 2) i betonelementindustrien,
- 3) i betonvareindustrien og
- 4) som blandemestre inden for fabriksbetonområdet og i betonvareindustrien.

Entreprenørområdet beskæftiger en meget væsentlig del af de specialarbejdere, som i deres daglige arbejde i større eller mindre grad er beskæftiget inden for betonområdet. Samtidig er deres arbejdsindsats i forbindelse med betonens udstøbning, komprimering og efterbehandling et af de vigtigste led for at opnå et færdigt betonbygværk med tilfredsstillende kvalitet, både hvad angår styrke, udseende og holdbarhed. Det er derfor af stor betydning, at disse specialarbejdere har en grundlæggende forståelse for, hvilke faktorer der er af betydning for opnåelsen af et godt resultat.

Specialarbejdere, der ønsker eller har beskæftigelse på en byggeplads inden for betonområdet, kan få en uddannelse inden for området ved at vælge kurser fra specialarbejderuddannelsernes byggepladslinje eller ved at gennemgå entreprenørområdets 2-årige specialarbejderuddannelse (bygninglinjen). Under hele den 2-årige uddannelse er specialarbejderen ansat på en bestemt virksomhed og gennemgår i alt 8 (heraf 6 obligatoriske) bygningstekniske kurser på tilsammen 27 uger på en specialarbejderskole. Uddannelsen giver en grunduddannelse inden for betonområdet, mens en mere specialiseret betonuddannelse må vente til et senere tidspunkt.

For betonelementlinjen er der skitseret 5 specialkurser på tilsammen 9 ugers varighed. Som resultat af et samarbejde mellem SID og Betonelementforeningen blev der i september 1978 med et hold på 12 specialarbejdere startet første forsøg af en 2-årig specialarbejderuddannelse inden for betonelementområdet. I det 2-årige forløb er planlagt 11 kurser med en samlet varighed på 26 uger på en specialarbejderskole, heraf er 11 uger betonkurser. Dette forløb må karakteriseres som første realiserede forsøg på at opbygge en faglig, specialiseret betonuddannelse for specialarbejdere.

efg-uddannelsernes basisuddannelse inden for bygge- og anlægsområdet har 12 grene herunder specialarbejder (bygningss-

linje) og specialarbejder (anlægslinje). Betonundervisningen på disse 2 linjer har et samlet omfang på ca. 2½ uge. I 1978/79 valgte 9 elever basisuddannelsens bygningslinje og anlægslinje. Disse linjer leder kun mod én fortsat uddannelse: maskinfører.

Det er således i dag ikke muligt inden for efg-uddannelsernes rammer at få mere end en grunduddannelse inden for betonområdet. For at give mulighed for, at en del unge ved hjælp af efg-uddannelserne kan få dybere indsigt i, hvorledes betonarbejde udføres, kunne man derfor forestille sig, at det blev overvejet at etablere en faglig uddannelse: "Betonarbejder". Skoleuddannelsen bør koncentrere sig om materialekendskab, prøvning og kontrol, mens de praktiske færdigheder og kendskab til udførelsesmetoder bedst tilegnes i praktikperioden.

#### Afsluttende bemærkninger.

Det er ikke let at fastslå, hvormange timers grunduddannelse og efteruddannelse, som er nødvendig for, at bestemte funktioner kan varetages i forbindelse med arbejde inden for betonområdet. Men på den anden side kan det konstateres, at det nuværende uddannelses- og erfaringsniveau blandt de, som er beskæftigede med den ene eller anden slags betonarbejde ikke altid er tilstrækkeligt højt. Baggrunden for denne konstatering kan simpelthen findes i den i mange tilfælde alt for ringe kvalitet for et betonbygværk. Her spiller nok specielt manglende kompetence på teknologi- og udførelsessiden ind. Det må erindres, at kompleksiteten i betontechnologien er stor, og den er, om ikke større, så i al fald sammenlignelig med kompleksiteten ved svejsning. For svejsere kræver man certifikat, men til betonarbejdere, som selv fremstiller deres byggemateriale og bagefter udstøber, komprimerer og efterbehandler det, stiller man ingen krav. Heller ikke til arbejdsledere eller byggepladsledere stilles krav om teoretisk eller praktisk uddannelse og kunnen.

I denne forbindelse kan det nævnes, at der er en sammenhæng mellem uddannelsesintensitet og det, som normer og kontrolordninger måtte stille af uddannelseskraV for varetagelse af bestemte arbejdsopgaver.

DANSK BETONFORENING  
Manniche & Hartmann A/S  
Rådgivende civilingeniører F.R.I.  
Norgesmindevej 22  
2900 Hellerup

RUMSTORE ELEMENTER AF LETBETON

af  
Civilingeniør N.U. Ingholt

AUGUST 1979

## RUMSTORE ELEMENTER AF LETBETON

### 1. Indledning

Rumstore elementer af letbeton eller helvægselementer, som de også kaldes, fremstilles i dag udelukkende af letklinkerbeton, dvs. beton med porøse tilslag af Leca eller Fibo. Helvægselementer udgør langt den største del af produktionen af letklinkerbetonvæggene, og kun en mindre del består af 60 cm brede standardelementer.

Elementerne anvendes til bærende skillevægge og bagmure i eenfamiliehuse, rækkehuse og øvrigt lavt byggeri. Helvægselementer er dog anvendt i byggeri op til 3 etager. Endvidere anvendes en del helvægselementer til kældervægge. Helvægselementer har igennem de senere år fået en ret stor udbredelse i takt med det voksende lave byggeri. I 1976 produceredes ca. 1,2 millioner m<sup>2</sup> helvægselementer af letbeton, svarende til ca. 7-8.000 boligenheder. Produktionen af elementerne foregår på over 20 forskellige fabrikker landet over. Flere af fabrikkerne i Jylland eksporterer en stor del af produktionen til Tyskland. Fabrikkerne's produktion er meget forskellig. Der fremstilles helvægselementer med densiteter mellem 600 kg/m<sup>3</sup> og 1.800 kg/m<sup>3</sup> og med trykstyrker mellem 3 N/mm<sup>2</sup> og 10 N/mm<sup>2</sup>.

### 2. Beregningsgrundlag

Letbeton med densitet over 1.400 kg/m<sup>3</sup> hører under DIF's anvisning for let konstruktionsbeton, der udkommer her i 1979.

Letbeton med densitet under  $1.400 \text{ kg/m}^3$  hører under DIF's norm for letbeton, bærende vægelementer, DS 420.2 af 1977.

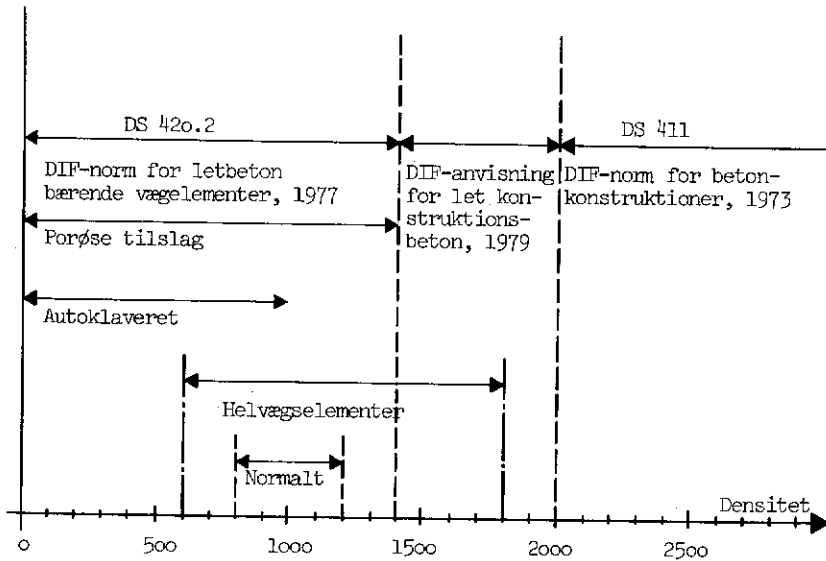


Fig. 1. Normområde

På fig. 1 er vist det område med densiteter mellem  $600 \text{ kg/m}^3$  og  $1.800 \text{ kg/m}^3$ , hvor der produceres helvægselementer. Langt den største del af helvægselementerne fremstilles dog med densiteter mellem  $800 \text{ kg/m}^3$  og  $1.200 \text{ kg/m}^3$ .

DIF's anvisning for let konstruktionsbeton bygger på betonnormen DS 411. Ved at anvende letbetonelementer med densitet over  $1.400 \text{ kg/m}^3$ , har man derfor den fordel, at man kan beregne sig til elementernes bæreevne, hvilket kan være en fordel, når der produceres elementer med forskellig udformning. Til gengæld er elementerne tungere end dem med de lavere densiteter, og varmeisoleringen dårligere.

For elementer med densiteter på  $800 \text{ kg/m}^3$ - $1.000 \text{ kg/m}^3$  opnås flere fordele: Der fås en rimelig plan overflade, således at elementet kan tapetseres direkte. Der kan opnås tilstrækkelig store styrker; og densiteten er stadig så lav, at elementet giver et rimeligt stort bidrag til isoleringsevnen af en ydervæg.

### 3. Letbetonnormen

I letbetonnormens gyldighedsområde er anført, at normen omhandler elementer, der i det væsentlige er lodret belastede. Herunder henføres vindbelastede elementer, hvorimod jordtrykspåvirkede elementer ikke omfattes af normen. Endvidere er hulmurskonstruktioner ikke omfattet af normen, hermed skal forstås hulmurskonstruktioner, hvor formuren bidrager til bæreevnen.

Normen kræver, at producenten deklarerer følgende egenskaber:

Måltolerancer.

Densitet (øvre karakteristisk værdi, 75% fraktil).

Trykstyrke (nedre karakteristisk værdi, 10% fraktil).

Bøjningstrækstyrke (nedre karakteristisk værdi, 10% fraktil).

Elasticitetsmodul (nedre og øvre karakteristisk værdi, 10% og 90% fraktil).

Fugtindhold af fabrik (øvre karakteristisk værdi, 90% fraktil).

Udtørringssvind (øvre karakteristisk værdi, 90% fraktil).

Bygningssvind (øvre karakteristisk værdi, 90% fraktil).

Evt. elementstyrke.

Evt. fugestyrke.

Til kontrol af de deklarerede værdier, er oprettet en kontrolordning, letbetonkontrollen, LBK.

I normen anvendes bl.a. følgende betegnelser, store elementer og specialelementer med huller. Store elementer tillades, når de er uarmerede, anvendt med beregnet bæreevne, dersom det ved en godkendelsesprøvning er eftervist, at elementets

bæreevne er større end den beregnede bæreevne, udfra den deklarerede trykstyrke bestemt på prismet. Specialelementer tillades, på tilsvarende vilkår, anvendt med beregnet bæreevne, dersom bæreevnen af bjælker over huller er dokumenteret.

Bæreevnen af elementerne kan bestemmes på to måder, enten udfra den deklarerede elementstyrke, eller udfra beregning af elementstyrken på grundlag af den deklarerede trykstyrke.

Bæreevnen kan beregnes, enten udfra en kendt ekscentricitet  $e$ , som bestemmes under hensyntagen til vederlagstrykkets fordeling, indspændingsgraden, samt fremstillings- og montage-tolerancerne, eller ved en forenklet beregning, hvor den største belastning lige over væggen angriber med ekscentriciteten  $0,4 \cdot t$ , og den øvrige belastning med ekscentriciteten  $0,1 \cdot t$ .

For vægge, som udover lodret last er påvirket af vindlast, tillades det, at der regnes med bøjningstrækspændinger.

#### 4. Helvægselementers anvendelse i lavt byggeri

I et- og halvandenetages byggeri anvendes normalt 10 cm tykke vægge til bærende skillevægge og bærende bagvægge i facaden. Til to- og treetages byggeri anvendes 15 cm eller tykkere vægge. Vægge, der skal understøtte dækelementer, skal være mindst 15 cm. Kælderydervægge er mindst 30 cm tykke og ofte armerede.

Til lejlighedsskel er det nødvendigt at anvende dobbeltvægge med mineraluld imellem, for at opfylde de specielle lydkrav. Afhængig af væggenes densitet anvendes 2 x 10 cm eller 2 x 15 cm, jfr. fig. 2.

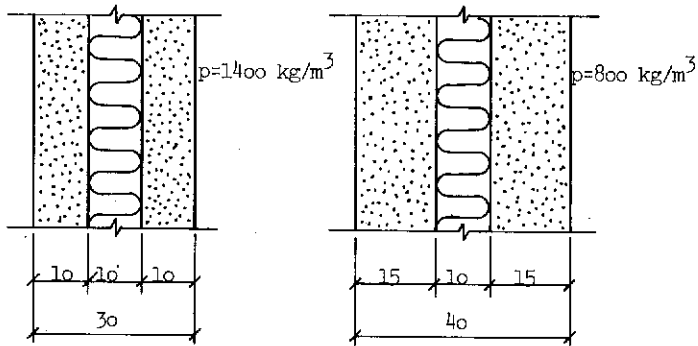


Fig. 2. Lejlighedsskel

Som bagvæg i facaden kan væggen forsynes med indstøbte strittere til fastholdelse af en skalmur i tegl. Letbetonvæggen bidrager i dette tilfælde til isoleringsevnen, jfr. fig. 3.

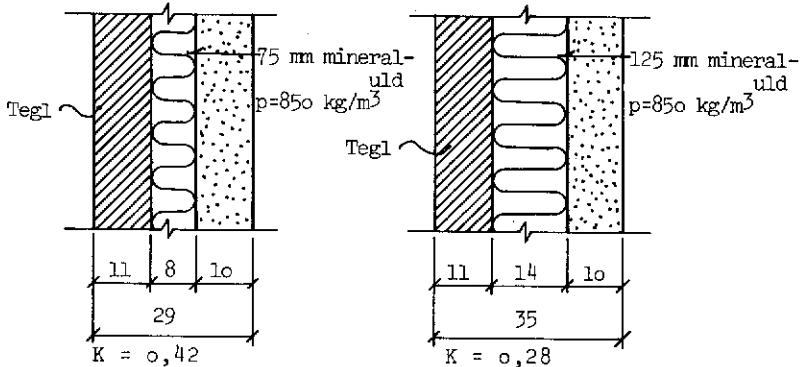


Fig. 3. K-værdier for ydervægge

Af hensyn til transporten armeres elementerne med randarmering samt skræarmering omkring vinduer.



Vinduer fastgøres til bagvæggen med beslag, herved undgår man udmuring af vinduesfalsen og den deraf følgende kuldebro. Elementer med døre bør altid forsynes med en bjælke under døren for at afstive elementet.

Elementerne monteres på kiler, og understoppes med cementmørtel, hvorefter kilerne fjernes. Da der er tale om store elementer, bør elementerne, for at undgå bevægelser og revner, samles i alle hjørner med U-bøjler og låsejern eller bolte i inserts, jfr. fig. 4.

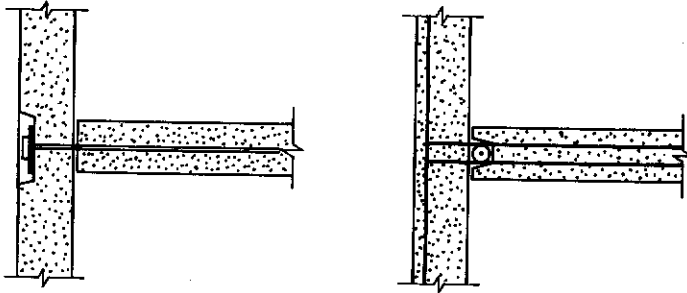


Fig. 4. Samlingsmetoder

Elektriske installationer indstøbes normalt i elementerne.

### 5. Lodret bæreevne

Den lodrette bæreevne beregnes ud fra formlen:

$$Q_r = \frac{1}{f_1} \cdot \frac{\delta_{cg} \cdot b \cdot (t - 2e)}{1 + 12 \cdot 10^{-4} \left( \frac{1}{t - 2e} \right)^2}$$

$f_1$  er partialkoefficienten, der ved den nøjagtige beregningsmetode sættes til 2,3.

På fig. 5 er den lodrette bæreevne af forskellige vægge beregnet i afhængighed af ekscentriciteten.

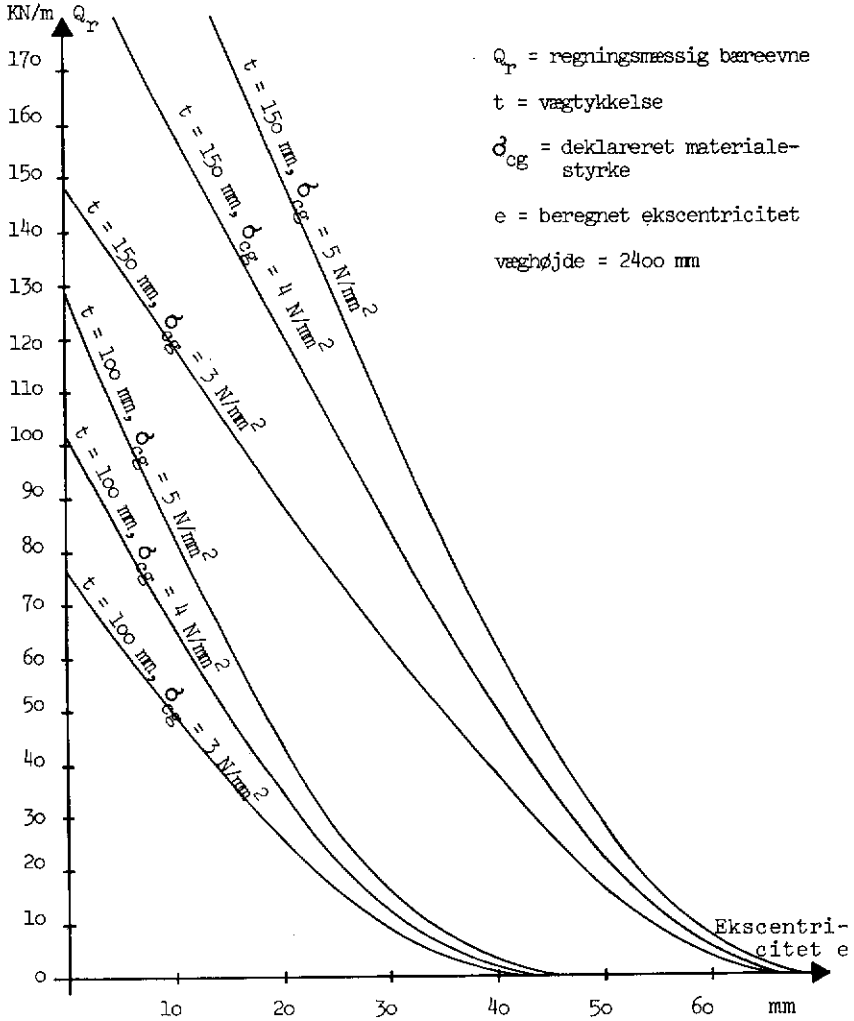


Fig. 5. Lodret bæreevne

For et- og halvandenetages huse, med remmen centralt placeret over bagvæggen, vil den samlede ekscentricitet fra lodret last alene være ca. 15-20 mm. Den lodrette belastning på væggene vil normalt maksimalt være ca. 25-35 KN/m. Af fig. 5 ses, at normalt vil de svageste vægge med deklarerede trykstyrker på  $3 \text{ N/mm}^2$  have tilstrækkelig bæreevne til et- og halvandenetages huse.

Ved huse i to etager, eller ved vægge, der understøtter betondæk, bliver det nødvendigt med stærkere eller tykkere vægge.

### 6. Vandret bæreevne

Ved beregning af en facadevæg overfor vindlast, må man efter letbetonnormen kun medtage bagvæggens bidrag til bæreevnen.

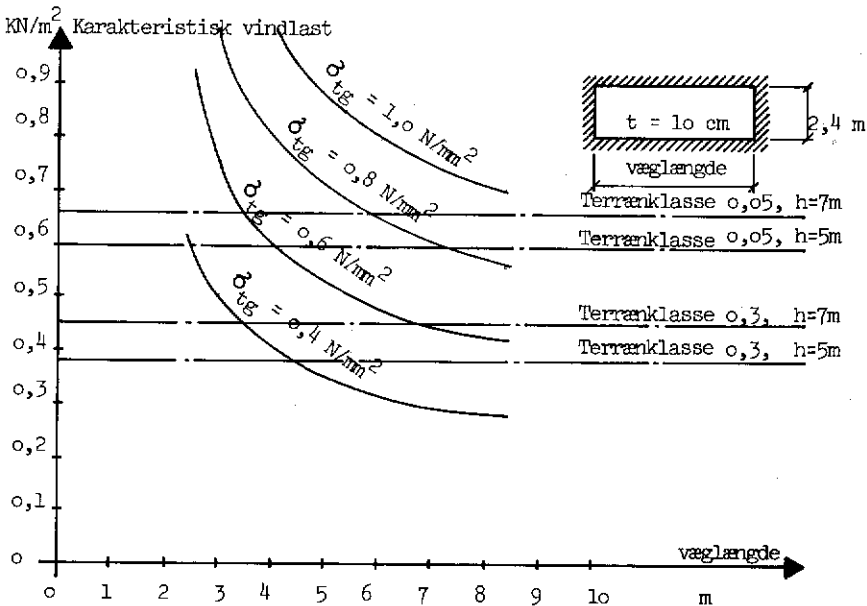


Fig. 6. Vandret bæreevne af firesidig understøttet væg

På fig. 6 er for en 10 cm tyk og 2,4 m høj firesidig understøttet væg til et eenfamiliehus eller lignende beregnet den vandrette bæreevne, angivet som karakteristisk vindlast i afhængighed af væglængden. Bæreevnen er anført for letbetoner med 4 forskellige deklarerede bøjningstrækstyrker.

Ved beregningerne er den lodrette belastning på væggen sat til 0, hvad der ofte kan være tilfældet på grund af det samtidige sug på taget. Endvidere er anført den karakteristiske vindlast for et et-og halvandenetages hus beliggende henholdsvis i by og på land. Der er regnet med en c-værdi på 1,0. Når der samtidig skal tages hensyn til svækkelser i væggen fra vinduer og døre, må man mindst forlange en deklareret bøjningstrækstyrke på ca.  $0,7 \text{ N/mm}^2$  i byer og ca.  $1,0 \text{ N/mm}^2$  på landet. Da bøjningstrækstyrken er ca.  $1/6$  af trykstyrken, svarer dette til trykstyrker på  $4 \text{ N/mm}^2 - 6 \text{ N/mm}^2$ , altså noget større end nødvendigt af hensyn til den lodrette bæreevne.

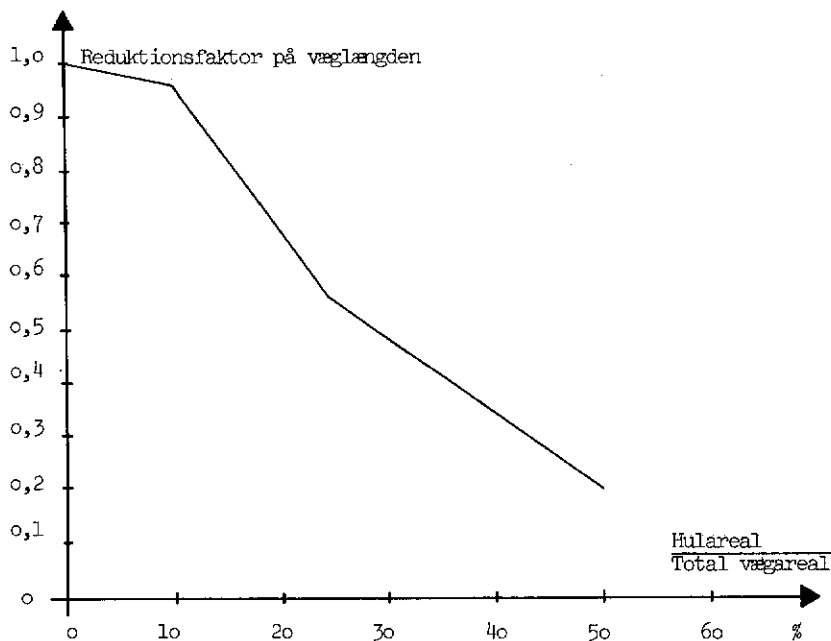


Fig. 7. Reduktionsfaktor for vægge med huller af normal form

For at få et foreløbigt skøn over svækkelsen af væggen på grund af huller, kan man anvende reduktionsfaktoren i fig. 7, der for vægge med et eller flere huller af normal form angiver, hvor meget den ud fra fig. 6 fundne væglængde skal reduceres med i afhængighed af hularealet i % af væggens areal.

Ofte vil man vælge at forstærke væggen med armering omkring vinduerne.

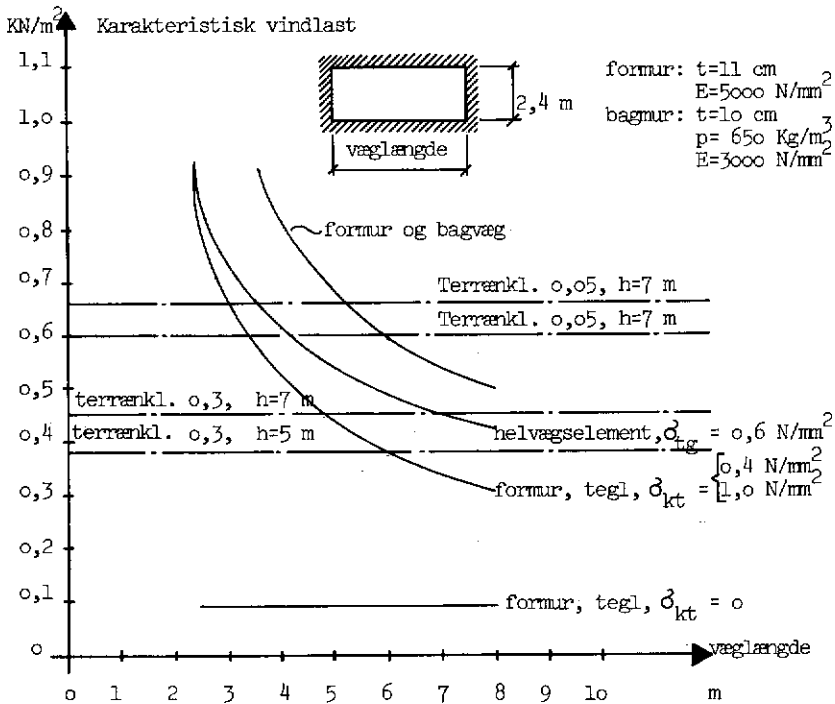


Fig. 8. Vandret bæreevne af formur og bagvæg.

Selv om normen ikke tillader, at man medregner formuren i bæreevnen, bidrager formuren uden tvivl væsentligt til væggens bæreevne, og i forhold til de svageste letbetonvægge, er formurens bæreevne endog større end bagvæggens. Flere udenlandske normer har indført regler hvorefter man kan regne med trækspændinger i murværket. I de engelske murværksnormer regnes med karakteristiske bøjningstrækspændinger, der henholdsvis vinkelret på og parallelt med liggefugerne varierer omkring  $0,4 \text{ N/mm}^2$  og  $1,0 \text{ N/mm}^2$ . På grundlag af disse bøjningstrækspændinger og med en partialkoefficient på  $3,0$  er i fig. 8 anført den vandrette bæreevne af en  $11 \text{ cm}$  firesidig, simpelt understøttet formur af tegl i afhængighed af væglængden.

Bæreevnen af formuren vil i de fleste tilfælde være større endnu, idet væggen kan regnes indspændt i hjørnerne og over understøtningerne. Til sammenligning er vist den samme vægs bæreevne, beregnet uden trækspændinger, og med væggen kun belastet af sin egenvægt. Endvidere er anført bæreevnen af et  $10 \text{ cm}$  helvægselement med deklareret trækstyrke på  $0,6 \text{ N/mm}^2$ .

Formur og bagvæg vil ved belastning få samme udbøjning på grund af deres forbindelse med stritterne. Belastningen vil derfor fordele sig på væggene i forhold til de to vægges stivheder. Teglmurens elasticitetskoefficient kan regnes at være  $5.000 \text{ N/mm}^2$ . Letbetonens elasticitetskoefficient kan for helvægselementernes vedkommende regnes at være  $0,18 \cdot p^{3/2}$ . Dette giver for  $p = 650 \text{ kg/m}^3$ ,  $E = \text{ca. } 3.000 \text{ N/mm}^2$  og for  $p = 900 \text{ kg/m}^3$ ,  $E = \text{ca. } 5.000 \text{ N/mm}^2$ .

For en bagvæg med en densitet på  $650 \text{ N/mm}^2$  og en bøjningstrækstyrke på  $0,6 \text{ N/mm}^2$ , vil bæreevnen af formuren derfor være udtømt lang tid inden bagvæggen har nået sin brudværdi. Man kan derfor ikke umiddelbart addere de to bæreevner.

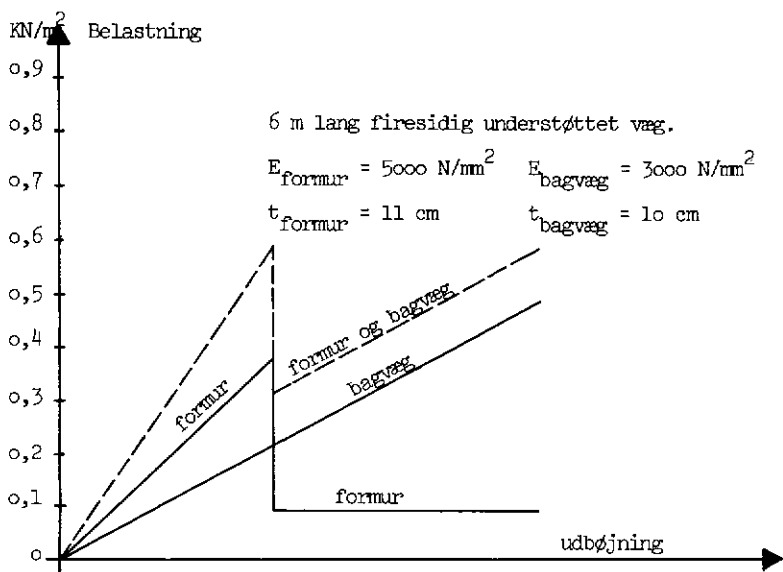


Fig. 9. Skematisk fremstilling af samvirken mellem formur og bagvæg

Princippet i den samlede vægs bæreevne med voksende udbøjning er skematisk vist på fig. 9. Efter samme princip er på fig. 8 tegnet den samlede bæreevne af formur og bagvæg, svarende til brud i formur, i afhængighed af væglængden.

Det ses, at ved at medtage formuren i beregningerne, kan den samlede vægs bæreevne i dette tilfælde forøges med ca. 25%. Ved en bagvæg med en densitet på  $900 \text{ kg/m}^3$  vil elasticitetskoefficienten være den samme som formurens, og med en deklareret bøjningstrækstyrke på f.eks.  $0,8 \text{ N/mm}^2$  i bagmuren vil den samlede vægs bæreevne forøges med ca. 50% i forhold til bagvæggens. Ved at medtage formuren i beregningerne vil man derfor normalt, til et- og halvandenetages byggeri, kunne reducere kravet til den deklarerede bøjningstrækstyrke til ca.  $0,6 \text{ N/mm}^2$  i by og ca.  $0,8 \text{ N/mm}^2$  på landet.





DANSK BETONFORENING

Statens Byggeforskningsinstitut  
Afdelingen for bygningskonstruktioner

NYE BEREGNINGSREGLER FOR STØBESKEL OG FUGER

af

Civilingeniør Klaus Hansen

August 1979

## NYE BEREGNINGSREGLER FOR STØBESKEL OG FUGER

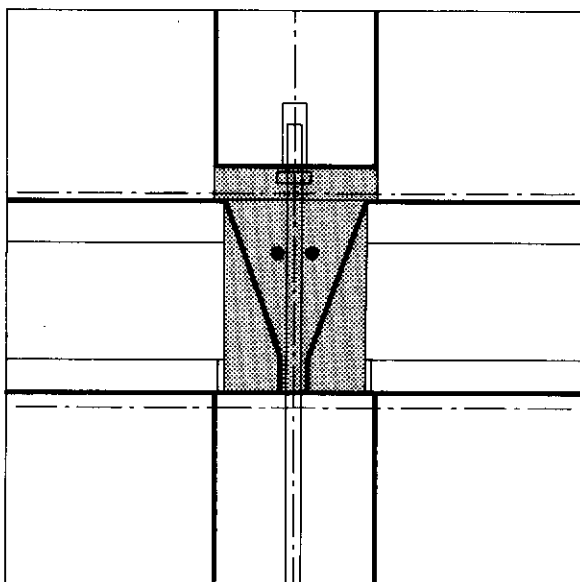
### Gamle erfaringer -- ny sammenfatning

"Erfaringer fra laboratorium" er indgangsnøglen til dette indlæg om nye beregningsregler for støbeskel og fuger. Ser man på litteraturlisten over de forsøg, som udgør en væsentlig del af grundlaget for disse nye beregningsregler, ser man at hovedparten af forsøgene er fra 5 til 20 år gamle. Det er altså ikke nye friske laboratorieerfaringer, der her skal fremlægges, men den nye sammenfatning, som et lille udvalg af ingeniører har ment burde indgå i normen for betonkonstruktioner.

### Brugen af betonelementer har øget interessen for støbeskellene

Når forskydningsoptagelsen i støbeskel overhovedet er taget op til ny særskilt behandling, skyldes dette primært, at brugen af præfabrikerede betonelementer dels har indført en række nye støbeskeltyper, dels at disse ofte må placeres u hensigtsmæssigt i statisk henseende. Fugerne i elementbyggeriet har også af produktions- og montagemæssige grunde krævet større opmærksomhed end støbeskellene i støbt på stedet byggeri.

Sekundært har nyere forsøg og teoridannelser også vist, at en revision af beregningsreglerne var ønskelig.

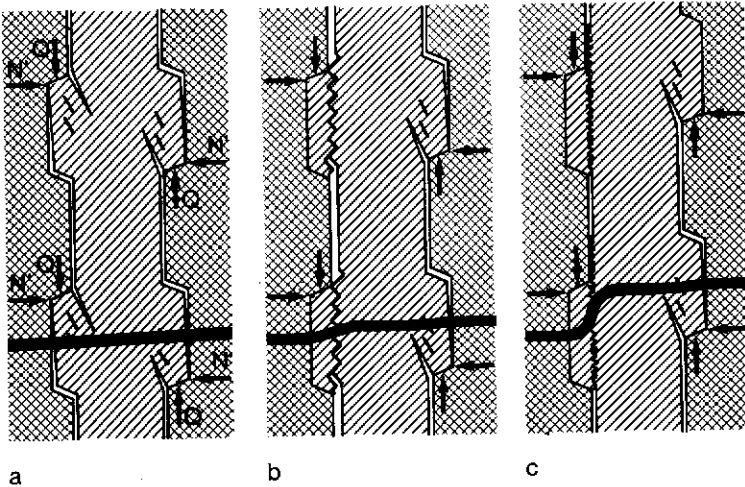


Figur 1. Et typisk etagekryds mellem betondæk og -vægelementer rummer fire forskellige langsgående støbeskel:  
a. glat støbeskel mellem vægbund og understopning,  
b. ru støbeskel mellem fugebeton og understopning,  
c. fortandet støbeskel mellem fugebeton og dækender, og  
d. ru støbeskel mellem fugebeton og vægoverside.  
Om de ru og fortandede støbeskel kan regnes som sådanne, afhænger af den konkrete udformning og udførelse.

Normen beskæftiger sig kun med bæreevnen i forbindelse med  
brud langs støbeskellet

Beregningsreglerne vedrører forskydningspåvirkede støbeskel såvel i pladsstøbte som i præfabrikerede betonkonstruktioner. For hvilke reglerne fastsætter den regningsmæssige bæreevne for brud langs støbeskellet. Se dog figur 2 for fortandede støbeskel. Reglerne beskæftiger sig ikke med:

- a. Støbeskel, hvor forskyndingsoverførslen sikres af særlige stålsamlinger eller af lim,
- b. støbeskel mod stål, tegl eller andre materialer, og
- c. andre brudformer for fugerne i betonelementbyggeriet, f.eks. forankringsbrud eller knusning af fugebetonen.



Figur 2. Virkemåden af tværarmeret fortandet støbeskel.  
a. Revnedannelse i støbeskel og i fugebeton. Armeringen aktiveres og fremkalder normalkræfter virkende vinkelret på fugen.  
b. Bæreevnen opnås ved afrensning af fugetænderne, samtidig med at armeringen flyder.  
c. For store forskydningsdeformationer er der stadig en bæreevnereserve (residuallast) tilbage, dersom armeringen ikke er brudt.

Vedrørende punkt b er der nu nedsat et normudvalg vedrørende kompositkonstruktioner. Vedrørende punkt c viser hidtidige forsøg, at bruddet i fuger næsten altid foregår langs et af støbeskellene. Udvalget har derfor ikke følt det nødvendigt at indføje et nyt afsnit om elementbyggeri i normen.

### Gamle beregningsregler

De gamle beregningsregler i DS 411 (2) lød:

#### "6.1.5: Forskydning i støbeskel<sup>V</sup>

Under forudsætning af, at der i støbeskel ikke er trækspændinger, kan betonen regnes at optage forskydningsspændinger, der højst er lig med 30 pct af betonens regningsmæssige trækstyrke, dvs  $\tau_{br} = 0,3 \sigma_{br}$ .

ad 6.1.5: Forskydning i støbeskel

Ved beregning af modstanden mod glidning i et støbeskel kan friktionskoefficienten normalt regnes til 0,7. Det herved fremkomne friktionsbidrag kan adderes til det i normens afsnit 6.1.5 nævnte bidrag på 30 pct af betonens regningsmæssige trækstyrke.

8.3.4: Udstøbning<sup>V</sup>

Støbeskel skal placeres, udformes og udføres således, at konstruktionens bæreevne og holdbarhed er tilstrækkelig.

ad 8.3.4: Udstøbning

God vedhæftning mellem gammel og ny beton i støbeskel bør sikres, ved at den gamle betonoverflade inden påstøbning af ny beton renses, vandmættes og fx indkøstes med et tyndt lag cementvælling eller cementmørtel. Pauser i støbearbejdet, hvorved der fremkommer midlertidige støbeskel, bør ikke vare længere, end at gammel og ny beton kan arbejds så godt sammen, at skellet forsvinder."

Svaghederne heri er primært:

- a. at glatte og fortandede støbeskel ikke er behandlet,
- b. at tværarmeringens betydning ikke er tydeligt angivet, og
- c. at der ikke er angivet en øvre grænse for forskydningsbæreevnen.

Plasticitetsteori

Teoretiske betragtninger med udgangspunkt i Coulombs brudhypotese og anvendelse af plasticitetsteorien, se (3) og (4), peger på bæreevneformlen:

$$\frac{\tau}{\sigma_C} = \frac{c}{\sigma_C} + \mu \phi$$

hvor armeringsgraden  $\phi$  er defineret som

$$\phi = \frac{A_a \sigma_f + N}{A_b \sigma_c}$$

Denne bæreevne må dog modificeres noget, da beton ikke er det forudsatte ideelt plastiske materiale.

Herudover peger teorien på, at bæreevnen for små armeringsgrader reduceres, dersom trækstyrken af støbeskellet er ringe, og at der findes en øvre grænse for forskydningsbæreevnen, svarende til trykbrud i konstruktionen omkring støbeskellet.

Bæreevneformler af denne form er tillige foreslået fra empirisk hold, se (5), og adskiller sig kun fra den gamle regel ved, at betonens trækstyrke er erstattet af trykstyrken.

#### Forsøg

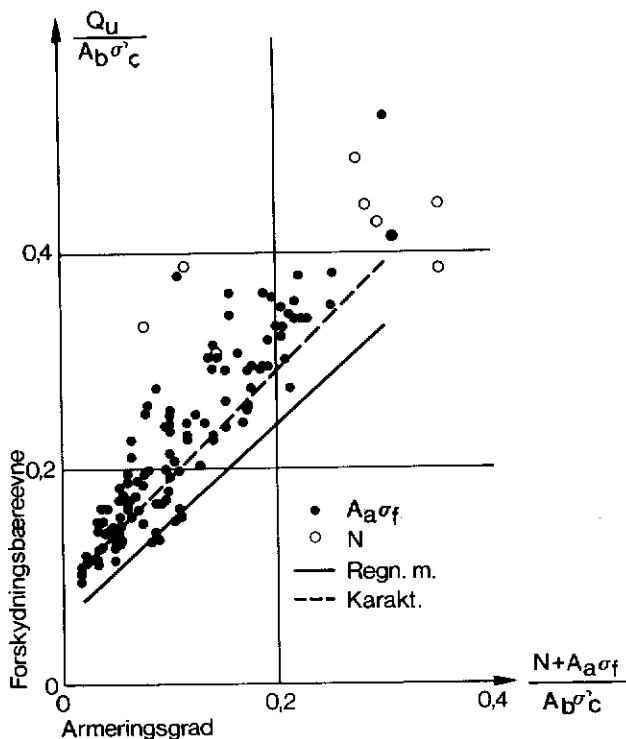
Figurerne 3, 4 og 5 viser de forsøg som ligger til grund for de nye beregningsregler. Herudover foreligger der en lang række forsøg som inddirekte har påvirket beregningsreglernes udformning. Dette gælder:

- a. Forsøg med "afglattede" støbeskel, som viser at støbeskel skal være meget glatte før bæreevnen for alvor falder, se (6).
- b. Forsøg med ren dornvirkning, som viser at der for store deformationer opnås den bæreevne, der ikke er meget forskellig fra den der foreskrives for glatte støbeskel, se (7).
- c. Forsøg med andre fortandingsformer, som viser at den største bæreevne opnås, når de nye beregningsreglers krav er opfyldt, se (8). Fortandingsudformning som medfører en brudform, hvor tænderne "glider af" mod hinanden giver en mindre bæreevne, men bedre plasticitet, se (9).

#### Karakteristiske og regningsmæssige bæreevner

På figurerne er indtegnet skønsmæssigt fastlagte karakteristiske bæreevner. For de fortandede støbeskel er denne taget fra CIB Working Commission W 23 A's arbejde hermed, se (5). Herefter er disse transformeret til regningsmæssige værdier under anvendelse af partialkoefficienterne:

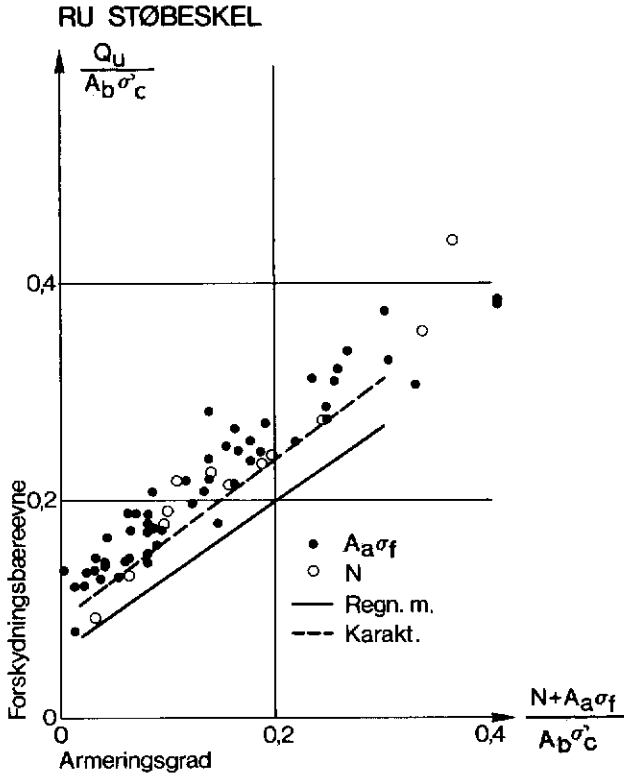
### FORTANDET STØBESKEL



Figur 3. Forsøgsresultater fra forsøg med fortandede støbeskel, se (5), (8), (15), (16), (17) og (18), sammenholdt med karakteristiske og regningsmæssige bæreevner,

$$\frac{Q}{A_b\sigma_c} = 0,09 + \phi \text{ henholdsvis } 0,06 + 0,9 \phi.$$

- a. 1,4 for "betonbidraget" svarende til uarmeret beton, fordi dette bidrag stort set fortabes for store forskydningsdeformationer.
- b. 1,1 - 1,2 for "friktionsbidraget". Denne partialkoefficient er ikke fastlagt i normen for betonkonstruktioner og har derfor måttet fastlægges skønsmæssigt. "Vejledning for fastsættelse af partialkoefficienter", se (10), tilsiger, at der skal divideres med en partialkoefficient i dette tilfælde.

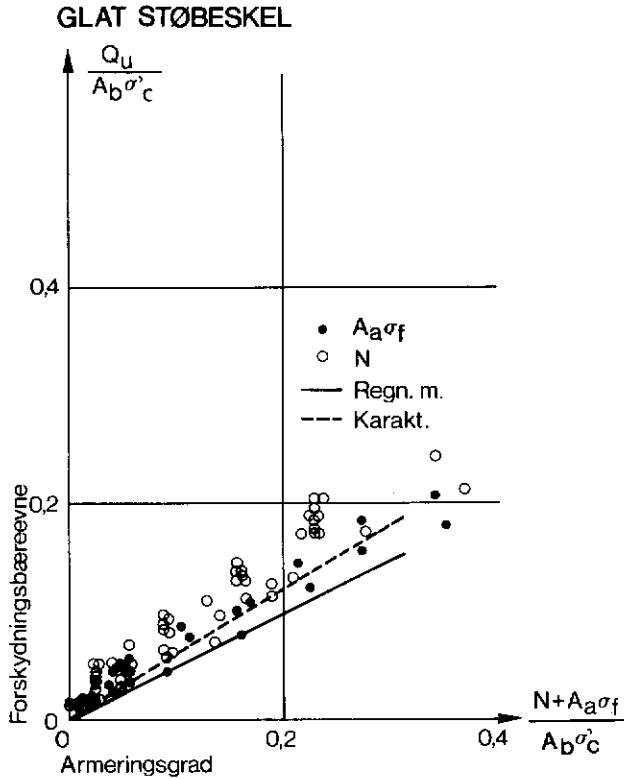


Figur 4. Forsøgsresultater fra forsøg med ru støbeskel, se (6), (19), (20), (21) og (22), sammenholdt med karakteristiske og regningsmæssige bæreevner,

$$\frac{Q}{A_b \sigma_c} = 0,09 + 0,75 \phi \text{ henholdsvis } 0,06 + 0,7 \phi$$

Anvendelsesgrænserne 0,02 og 0,3 for armeringsgraden skyldes dels teoretiske betragtninger, dels manglende forsøg med store armeringsgrader.

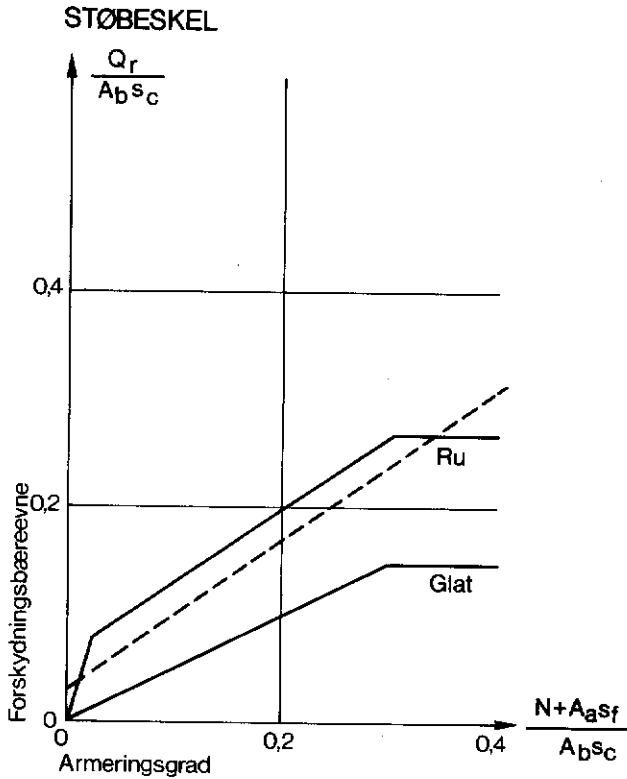




Figur 5. Forsøgsresultater fra forsøg med glatte støbeskel, se (8), (16), (17), (18), (20), (23), (24), (25) og (26) sammenholdt med karakteristiske og regningsmæssige bæreevner,  $\frac{Q}{A_b \sigma_c} = 0,6 \pm$  henholdsvis  $0,5 \pm$ .

### Skrå armering

Forsøg med skrå armering viser, at en opløsning af den regningsmæssige trækraft i armeringen i et trækbidrag i forskydningsretningen og et friktionsgivende bidrag vinkelret på forskydningsretningen er i orden, når tværarmeringens vinkel  $\alpha$  med forskydningsretningen ligger i intervallet  $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ . Ligger  $\alpha$  udenfor dette interval forringes bæreevnen, se (11).



Figur 6. Sammenligning mellem gamle (punkterede) og nye beregningsregler (fuldt optrukne).

#### Nye beregningsregler

De nye beregningsregler, som er gengivet i bilaget, opererer med  $r_u$ , fortandede og glatte støbeskel, men er ligesom de gamle regler uafhængige af konstruktionsdel og fremstillingsmåde. Reglerne for glatte støbeskel gælder tillige for  $r_u$  og fortandede støbeskel, som ikke opfylder de opstillede krav til udformning og udførelse.

I figur 6 er de nye beregningsregler for ru og glatte støbeskel sammenlignet med de gamle regler. Fortandede støbeskels bæreevne afhænger af fortandingsgraden og kan derfor ikke umiddelbart sammenlignes med de andre støbeskelstyper.

Beregningsreglerne er ligesom DS 411 i øvrigt møntet på brudsituationen. Dette er baggrunden for, at der for ikke tryk-påvirkede glatte støbeskel advares mod de deformationer, der eventuelt kan optræde ved fuld udnyttelse af den regningsmæssige bæreevne.

En gennemgang af en række andre normer og normforslag viser, at alle stort set har samme form. Dog tager mange kun et friktionsbidrag i regning. Der er endvidere stor variation i fastsættelsen af bæreevnen for meget små og meget store armeringsgrader.

#### Anvendelse i praksis

I relation til anvendelsen i praksis kunne det bl.a. være værd at diskutere følgende forhold:

- a. tværarmeringens forankring,
- b. randproblemer
- c. lange støbeskel, og
- d. smalle fuger.

Tværarmeringen skal være forankret tæt op til støbeskellet, fordi de tværdeformationer der opstår i forbindelsen med forskydningspåvirkningen er små, af størrelsesordenen 0,5 mm. Til gengæld vil tværarmering placeret borte fra støbeskellets ender være godt forankrede, fordi forskydningskraften klemmer om armeringen på begge sider af støbeskellet. Dette indebærer bl.a. at overlappende bøjlesamlinger i smalle fuger kræver mindre overlappingslængde hvis fugen er forskydningspåvirket end hvis fugen er udsat for ren trækpåvirkning.

Placeres tværarmeringen tæt ved støbeskellets ender kan forankringen svigte, fordi dæklaget skubbes af.

Brud langs støbeskel vil ofte optræde i kombination med skrårevnebrud i begge ender af støbeskellet. Hvilket kan formindske bæreevnen væsentligt, specielt for korte støbeskel og fortandede støbeskel med et ringe antal tænder.

For lange støbeskel må man være opmærksom på de ru og fortandede fugers ringe deformationskapacitet. Bæreevnen må her bedømmes udfra en elastisk spændingsbestemmelse. Dette gælder bl.a. de langsgående væg- og dækfuger i skivebyggeri med betonelementer, se (1). Beregninger viser, at støbeskellenes forskydningsstivhed i de fleste tilfælde er tilstrækkelig stor til, at denne ikke øver indflydelse på spændingsfordelingen, se (12).

De mange forsøg med forskydningspåvirkede fuger viser som tidligere nævnt, at bruddet praktisk taget altid foregår langs et af støbeskellene. Undtagelserne knytter sig oftest til tilfælde, hvor tværarmeringen mellem de tilstødende elementer er dårligt forankret.

Hvad der derimod kan tænkes at volde problemer for de smalle fuger, er udfyldningen af fugen og kvaliteten af fugebetonen. I begge henseender er det fortandede støbeskel at foretrække, dels fordi en lidt mangelfuld udfyldning ikke reducerer bæreevnen væsentligt, dels fordi bruddet foregår i fuge- eller elementtænderne og ikke i selve støbeskellet. Betonelementforeningen og FRI har udgivet en anvisning i udstøbning af fuger, se (13).

#### Andre problemer? - yderligere information på vej

Andre problemer kunne også være taget op i denne sammenhæng, bl.a. kravet om en vis armering af støbeskel mellem præfabrikerede dæk og overbeton.

Udvalget har en længere artikel om dimensionering af støbeskel under udarbejdelse (14) og vil gerne inspireres til at tage andre problemer op end de her nævnte.

## Litteratur

- (1): Skivebygningers stabilitet 2, Beregningsmetoder. - Mogens Buhelt m.fl. - SBI-anvisning 115. Hørsholm. - Statens Byggeforskningsinstitut. 1979. 54 s. A4.
- (2): Dansk Ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner. - DS 411. 2. udg. - Københavns Tekniske Forlag. 1973. 64 s. + vejledning 55 s. A5.
- (3): Jensen, B.C.: Nogle plasticitetsteoretiske beregninger af beton og jernbeton. - Instuttet for Husbygning, Danmarks Tekniske Højskole, Rapport 111, 1975.
- (4): Nielsen, M.P., Bræstrup, M.W., Jensen, B.C., Bach, F.: Concrete Plasticity. - Bygningsstatisk Selskab, Specialpublikation.
- (5): Keyed shear joints. - SBI-rapport 97. Hørsholm. - Statens Byggeforskningsinstitut. 1976. 52 s. A4. - Indeholder bl.a. CIB-artiklen (21) og den afsluttende rapport vedr. DIAB's og SBI's vægfugeforsøg.
- (6): Houborg, J., A.B. Sørensen: "Støbeskel". - Eksamensprojekt ved Afdelingen for Bærende Konstruktioner, Dth. Udført under vejledning af E. Skettrup og T. Brøndum-Nielsen.
- (7): Rasmussen, B. Højlund: "Betonindstøbte, Tværbelastede Boltes og Dornes Bæreevne". Dth, Laboratoriet for Bygningsstatik. Meddelelse, Vol. 34, No. 2. Kbhv. 1962.
- (8): Le comportement sous charges ou déformations répétées alternées des joints verticaux entre panneaux préfabriqués. M. Pommert. Service d'Etude des Structures. Saint-Remyles Chevreuse. Centre Experimental de recherches et d'etudes du Batiment et des Travaux Publics (CEBT). 1972. 29 s. A4.
- (9): Eriksson, Anders: "Structural behaviour of vertical joints in large panel buildings". Doktorafhandling. Chalmers Tekniska Högskola. Göteborg 1978.
- (10): Vejledning for fastsættelse af partialkoefficienter inden for de forskellige normområder. - Særtryk fra Ingeniøren nr. 23, 1964.
- (11): Mattock, A.H.: "Shear Transfer in Concrete having Reinforcement at an Angle to the Shear Plane". - ACI-Special Publication SP42, Shear in Reinforced Concrete, Paper 42-1.
- (12): Diagrammer til tilnærmet beregning af afstivende vægge. - Klaus Hansen og S. Øivind Olsen. - SBI-rapport 92. København. - Statens Byggeforskningsinstitut. 1975. 24 s. A4.
- (13): Anvisning i udstøbning af fuger. - Udgiver af Beton-elementforeningen og FRI.

- (14): Dimensionering af støbeskel. - Klaus Hansen m.fl. - Nordisk Beton. - Under udarbejdelse. Udkommer tillige som SBI-særtryk.
- (15): Mehlhorn, Schwing, H., Berg, K.-R.: "Versuche zur Schubtragfähigkeit verzahnter Fugen". - Forschungsberichte aus dem Institut für Massivbau der Technischen Hochschule Darmstadt, nr. 34. Darmstadt, 1976.
- (16): Pume, D.: "Investigations on Failure Criteria of Shear Key Joints". - CIB Working Commission W23A. - Meeting in Darmstadt October 1974. - Technische Hochschule Darmstadt. Darmstadt 1975.
- (17): Halasz, R. and G. Tantow: "Schubfestigkeit der Vertikalfugen im Grosstafelbau". - Berichte aus der Bauforschung, Heft 39. - Verlag Wilhelm Ernst & Sohn. - Berlin, 1966.
- (18): Fauchart, J., Cortini, P.: "Etude expérimentale de joints horizontaux entre panneaux préfabriqués pour murs de betiments". - Essais et mesures no. 139. - Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics. - Paris 1972.
- (19): Anderson, A.R.: "Compisite Designs in Precast and cast-in-Place Concrete". - Progressive Architecture, sept. 1960.
- (20): Paulay, T., Park, R. and Phillips, M.H.: "Horizontal Construction Joints in Cast-in-place Reinforced Concrete". - ACI-Special Publication SP42, Shear in Reinforced Concrete, Paper 42-1.
- (21): Hofbek, J.A., Ibrahim, I.O., Mattock, A.H.: "Shear Transfer in Reinforced Concrete". - ACI Journal, Feb. 1969. and, Mattock, A.H., Hawkins, N.M.: "Shear Transfer in Reinforced Concrete - Recent Research". - PCI Journal, March-April 1972.
- (22): Mattock, A.H., Johal, L., Chow, H.C.: "Shear transfer in reinforced concrete with moment or tension acting across the shear plane". - PCI Journal, Juli-August 1975.
- (23): PCI Committee on Precast Concrete Bearing Wall Buildings: "Considerations for the Design of Precast Concrete Bearing Wall Buildings to Withstand Abnormal loads". - PCI journal, March-April 1976. - Comments by A.H. Mattoch and Committee.
- (24): Gaston, J.R., Kriz, L.B.: "Structures - Scarf Joints". - PCI Journal, June 1964.
- (25): Franz: "Versuche über die Querkraftaufnahme in Fügen von Spannbetonträgern aus Fertigteilen". - Beton- und Stahlbetonbau, Juni 1959.
- (26): Jones, L.J.: "Shear Tests on Joints between Precast Posttensioned Units". - Magazine of Concrete Research, vol. II, 1959.

Ændring af afsnittene vedr. støbeskel i DIF's norm  
for betonkonstruktioner (DS 411) og tilhørende vejledning.

6.1.5 Forskydning i støbeskel<sup>v</sup>

Der skelnes mellem fortandede, ru og glatte støbeskel (v). For fortandede støbeskel tages kun tandarealet<sup>v</sup> i regning.

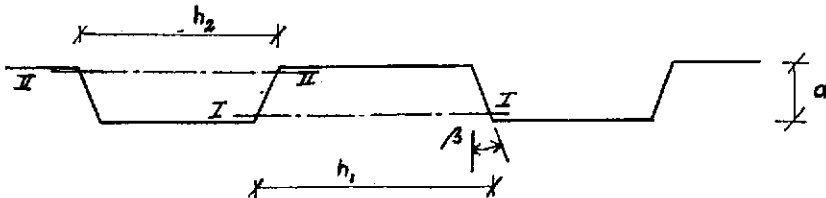
Under forudsætning af at

$$0.02 s_c \leq \varphi s_f + \sigma_c \leq 0.30 s_c$$

kan den regningsmæssige forskydningsbæreevne bestemmes som summen af et friktionsbidrag og et betonbidrag (v).  $\varphi$  er armeringsforholdet for den del af armeringen gennem støbeskellet som deltager i forskydningskraftoptagelsen.  $\sigma_c$  er trykspændingen i støbeskellet hidrørende fra den regningsmæssige last. For fortandede støbeskel anvendes kun tandarealet ved beregning af  $\varphi$  og  $\sigma_c$ .

Den regningsmæssige friktionskoefficient er  $\mu = 0.9, 0.7$  og  $0.5$  for henholdsvis fortandede, ru og glatte støbeskel. Betonbidraget kan regnes til  $t_b = 0,06 s_c$  og kan kun tages i regning for fortandede og ru støbeskel.

Tværarmering, der danner en vinkel  $\alpha \leq 90^\circ$  med forskydningsretningen, kan regnes effektiv for værdier af  $\alpha$  i intervallet  $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ .



### ad 6.1.5 Forskydning i støbeskel

Et støbeskel kan regnes fortandet, når tandhældningen  $\beta \leq 30^\circ$  og tanddybden  $d \geq 10$  mm. Tandarealet er defineret som tværsnitarealet af tænder af samme materiale i et snit parallelt med støbeskellet.

Snittet kan placeres ved bunden af de tænder, som ønskes undersøgt.

Tandarealet af tænderne for konstruktionen under støbeskellet på figuren er således tværsnitarealet af snit I-I, medens tandarealet af tænderne for konstruktionen over støbeskellet er tværsnitarealet af snit II-II.

Den effektive tandlængde  $h_1$  eller  $h_2$  må ikke regnes større end 8 d.

Et støbeskel regnes ru, når ruheden forekommer over hele overfladen. Dybden i ruheden skal være større end 3 mm. Den ru overflade skal være rengjort og fri for cementslam. Støbeflader støbt mod formsider kan normalt ikke regnes ru.

Under de forudsætninger, som er angivet i normen, kan den regningsmæssige forskydningsbæreevne  $t$  bestemmes af

$$t = t_b + \mu (\varphi s_f + \sigma_c) + \varphi s_f$$

For  $\varphi s_f + \sigma_c < 0.02 s_c$  kan der interpoleres retlinet mellem 0 og den til  $\varphi s_f + \sigma_c = 0.02 s_c$  svarende regningsmæssige forskydningsbæreevne.

Hvis  $\varphi s_f + \sigma_c > 0.30 s_c$  kan forskydningsbæreevnen sættes til den til  $\varphi s_f + \sigma_c = 0.30 s_c$  svarende værdi.

Tværrarmering der danner en vinkel  $\alpha$  i intervallet  $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$  bidrager med  $\mu \varphi s_f \sin \alpha + \varphi s_f \cos \alpha$  når  $0.02 s_c \leq \varphi s_f \sin \alpha + \sigma_c \leq 0.30 s_c$ .

For ikke trykpåvirkede glatte støbeskel opnås den regningsmæssige bæreevne først efter kendelige forskydningsdeformationer.

I 8.3.4 erstattes "God vedhæftning mellem ...cementvælling eller cementmørtel" af:

God vedhæftning mellem gammel og ny beton i støbeskel bør sikres ved, at den gamle betonoverflade inden påstøbning af ny beton renses og vandes. Der må ikke stå vand, når ny beton udstøbes. Den ny beton bearbejdes omhyggeligt op mod støbeskellet.



DET KONGELIGE DANSKE KUNSTAKADEMI  
Arkitektskolen, Forskningsafdelingen  
Kongens Nytorv 1  
1050 K

Anvendelse af ferrocement til bygningskonstruktioner  
Michael Freddie, kandidatstipendiat, arkitekt m. a. a.

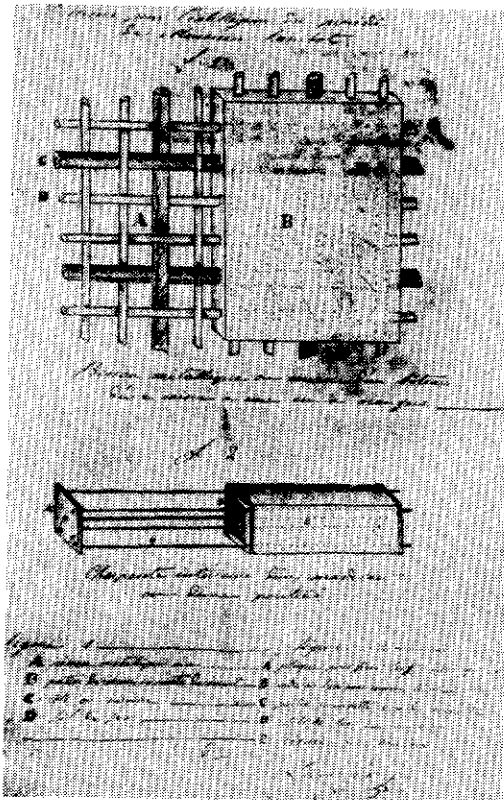
August 1979

INDHOLD	Side
Oprindelse og tidligere anvendelse	109
Karakteristika	116
Materiale sammensætning	118
Håndværksmæssig udførelse	120
Industriel fremstilling	121
Forskning	134
Anvendelse siden 1960	140
Litteraturliste	142

## OPRINDELSE OG TIDLIGERE ANVENDELSE

Et af de første kendte eksempler på jernbeton er en netarmeret betonbåd bygget i 1845 af godsejeren og gartneren Joseph Louis Lambot fra Montfort i Sydfrankrig.

I begyndelsen af 1840 opfinder Lambot, hvad han selv kaldte "Ferice-ment", d. v. s. en art netarmeret beton. I 1844 bygger han plantekummer, vandbeholdere og lignende gartneriredskaber til sin bedrift. I 1845 bygger han sin første båd, en ca. 8 fods rojolle og i 1855 patent- anmelder han sin opfindelse og udstiller robåden samme år på Verdens- udstillingen i Paris.

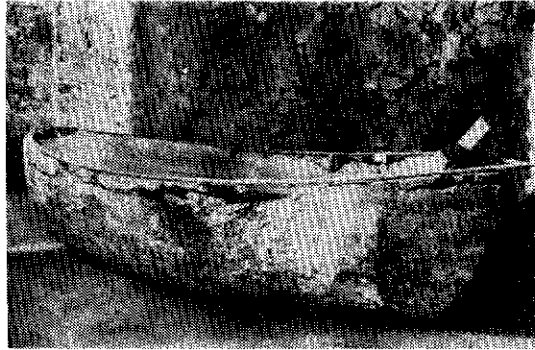


Lambots patentansøgning fra 1855

På Verdensudstillingen vækker Lambots båd stor opmærksomhed, og den franske krigsmarine indbyder Lambot til at forelægge sin opfindelse for marinens skibskonstruktør, som dog efter adskillige undersøgelser og interne diskussioner erklærer, at "Fericement" ikke er velegnet til krigsskibe.

I de følgende år eksperimenterer Lambot videre og bygger også en større lastpram, som afprøves på floden Argens. Denne båd vides der meget lidt om, og om han også prøvede at anvende sin "Fericement" til bygningskonstruktioner er ikke bekendt. Lambot konstruerede senere sindrige vandings- og dræningsanlæg og opdyrkede utilgængelige, kupe-rede arealer på sit gods Miraval, og han døde i Brignoles i Sydfrankrig i 1887.

I 1955 fandt man Lambots både på bunden af søen ved hans gods. Den ene var meget velholdt og næsten uskadt, mens den anden var i meget dårlig stand, og det viste sig så, at sidstnævnte havde været i brug indtil 1902. I 1959 på hundredeårsdagen for "Beton arme" blev det besluttet af Det franske Ingeniørakademi, at Lambots to ferrocement robåde skulle udstilles som en hyldest til en af den armerede betons pionerer. Begge både er nu udstillet på det lokalhistoriske museum i Brignoles.



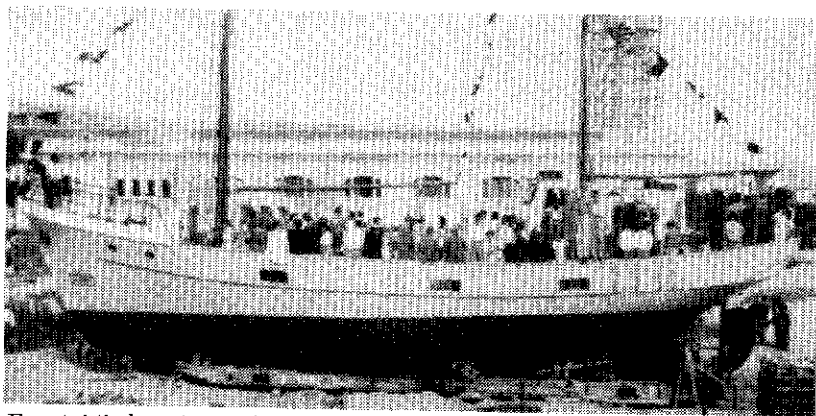
Lambots originale båd på museet i Brinogles

Omkring 1. verdenskrig blev ferrocement af materialeøkonomiske grunde anvendt til større skibsbygningsopgaver og forsøgsvis endog til bilkarosserier og Christiani & Nielsen byggede i 1918 på Kjøge Værft et 180 ft. skibsskrog.

Under 1. verdenskrig blev der således bygget adskillige fragtskibe, lægtere, ontoner og flydedokke. De fleste skibe blev bygget i USA og det hidtil største ferrocement skib, det amerikanske "Selma", var 434 ft., ca. 130 m, langt og havde en dødvægt på 6.340 t.

Udviklingen af ferrocement som skibsbygningsmateriale var i mellemkrigsårene meget beskeden og de samme fremstillingsprocesser blev derfor anvendt, da der under anden verdenskrig af materiale økonomiske årsager igen blev fremstillet ferrocement skibe.

Allerede i 1942 havde den italienske ingeniør og arkitekt Pier Luigi Nervi skitseret et projekt til en kæmpehal i Vatikanet til brug for paven, når han holder messe, audiens og andre celebre begivenheder. Nervi havde flere år forinden studeret ferrocementprincippet, og skitserede derfor i sikker overbevisning om, at det kunne lade sig gøre at udføre bygningen i ferrocement. 30 år senere realiseredes projektet, selvom hallen idag ikke er af ferrocement i den oprindelige tænkte form, men af armeret beton efter et princip som er udviklet ud fra ferrocementkonstruktioner.



Fragtskib konstrueret af P. L. Nervi i 1946

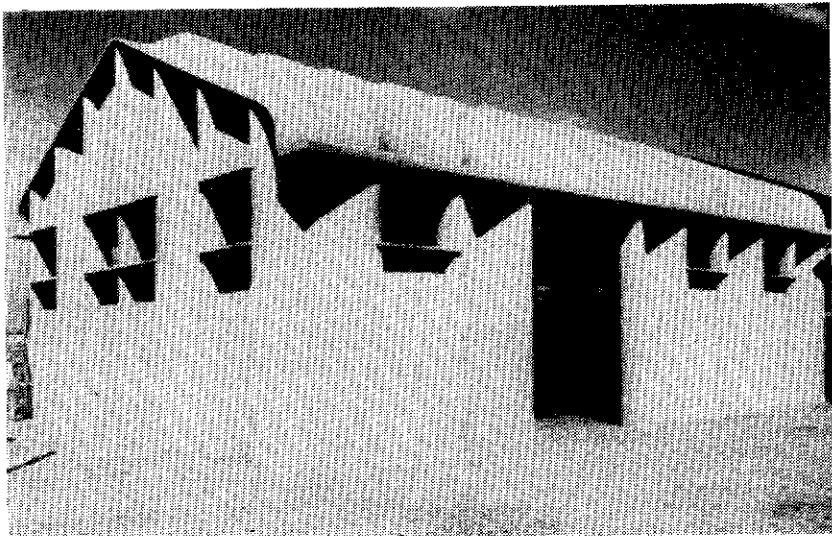
Ved den anden verdenskrigs slutning var der stor mangel i Italien på stål og et skibsværft i Amzio så derfor anvendelsen af ferrocement som en løsning til fremstilling af to mindre fragtskibe. P. L. Nervi og arkitekten Bartoli fik overdraget opgaven at projektere de to fragtskibe. Skibene skulle anvendes til skrottransport.

Tykkelsen af skroget på skibene var på 3,5 cm. Armeringen var bygget op med 2 langsgående og 2 tværgående Ø6 rundjern og belagt med 4 lag net på hver side.

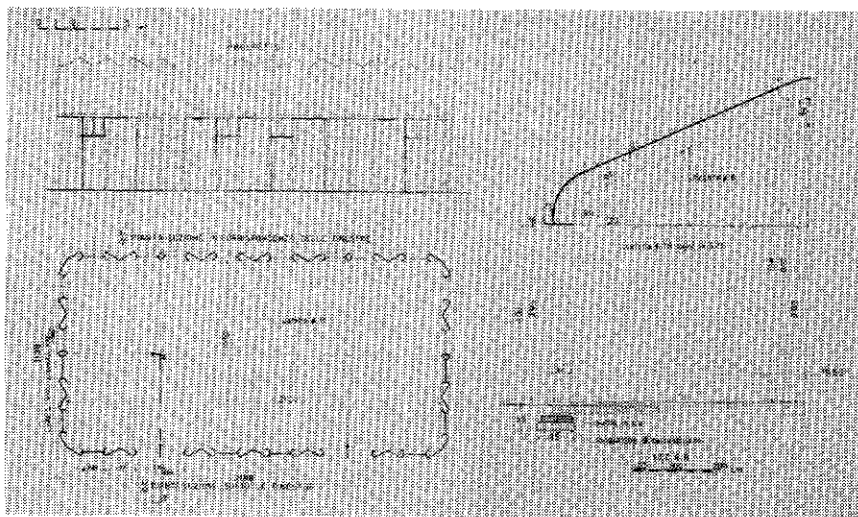
Efter 8 års sejlads på Middelhavet var skibene, som på søsætningsdagen og havde kun fordret ringe vedligeholdelse.

Samme værft byggede nogle år senere en flydedok over 2 dobbeltpontoner i ferrocement til brug for mindre fartøjer. Denne flydedok vejede ca. 20 tons.

Nervi byggede til sig selv i 1948 en meget smuk 12,5 m ketch. Båden hedder "Nennele" og trods to store uheld, hvor skibssiden er blevet påsejlet, er den endnu fuldt sejldygtig. Den har en skrogtykkelse på kun 12 mm, og er armeret med 7 lag net og et mellemliggende rundjern Ø 6 på langs og med en afstand på 5 cm. Disse rundjern blev holdt på plads af et skellet, en art spanter af jernrør med 25 mm i diameter og med en afstand på 1 m.



Ferrocementlagerhal i Rom .Konstrueret af P. L. Nervi i 1947



Ferrocementlagerhal i Rom

Sideløbende med skibsproduktionen arbejdede Nervi sammen med ingeniør Guido Oberti på den Polytekniske højskole i Milano med forsøg for at finde en teknologi til fremstilling af ferrocementelementer til bygningsbrug. Som resultat af disse forsøg blev der i efteråret 1946 opført en  $220 \text{ m}^2$  lagerbygning i udkanten af Rom. Væggene og taget har en tykkelse på 3 cm og væggene er udørt som en 1,7 m bred, 44 cm høj og 4,0 m lang bølget profil. Taget er to mod hinanden støttende profiler, 1,45 m brede, 44 cm høje og 6,3 m lange. Der er indsat et 22 mm træk-bånd fra tagfod til tagfod.

Der var stor tilfredshed med denne første bygning opført i ferrocement, skønt omkostningerne med opførelsen var noget større end, hvis den var opført i traditionelle materialer.

Til den store udstillingsbygning i Torino projekterede Nervi i 1947 en 7.500 m<sup>2</sup> hal med en hvælving på 98 m, udført af præfabrikerede ferrocementelementer, der er 4,5 m lange, 2,5 m brede, 1,45 m høje og med en konstruktionstykkelse på 4 cm. I en del af elementerne var der udspæringer for ovenlyse.

Hvælvingen blev udført ved at oplægge ferrocementelementerne i forlængelse af hinanden og samlingerne er lukket med udstøbning af armeret beton, støbt i elementets fordybning og i en forskalning på elementets top. Denne teknik, med mindre præfabrikerede elementer, var en økonomisk fordel, idet man derved sparede en kostbar forskalning under hele hvælvet og ferrocementen viste sig her for første gang som et konkurrencedygtigt bygningsmateriale.

I 1949 tegnede Nervi en udstillingsbygning i Toren, Salon-C, og tagkonstruktionen over galleriet var et bølgeformet ferrocementelement, med en spændvidde på 16 m. Oven på elementet blev anbragt en hård 4 cm isolerende plade, fastholdt af udstøbte jern i ferrocementelementet, og derpå igen udstøbt i 4 cm betondæk med en Ø 5 mm krydsarmering, med en centerafstand på 20 cm.

Under krigen blev Søfartsakademiet i Livorno ødelagt, og Nervi fik til opgave at rekonstruere skolens svømmehal. Taget er dannet af bølgeformede, præfabrikerede elementer i ferrocement, og de halve buer støtter gensidigt hinanden.

Teknikken med de bølgede ferrocementelementer blev i 1953 yderligere forbedret, og Nervi tegnede en bygning til en tekstilmesse i Milano. Det var en 85 m lang, krum 2 etagers bygning, med balkon og restaurant øverst. Over balkonen er et 12 m bredt halvtag, udført af præfabrikerede ferrocementelementer, hvor yderste halvdel af taget er indspændt.

Med de gode erfaringer Nervi havde med præfabrikation af ferrocementelementer, projekterede han i 1949 en tobaksfabrik i Bologna. Taget og etageadskillelserne var præfabrikerede kasseformede ferrocementkassetter på ca. 2,5 m<sup>2</sup>, og med en højde på ca. 40 cm. Efter oplægning på en enkel forskalning, blev der lagt en krydsende armering og støbt henover.



En videreudvikling af dette system blev vist i taget på en tekstilfabrik ved Rom i 1951. Her havde Nervi udformet ferrocementkassetterne ud fra det isostatiske kraftforløb, der forekommer i et plant dæk, og havde derved skabt et materialeøkonomisk og tilmed smukt loft.

I 1951 tegnede Nervi et 3.500 m<sup>2</sup> stort saltlager i Tortona. Det er en lang, smal bygning med et 35 m bredt og 30 m højt hvælv. Hvælvet er bygget op af præfabrikerede, rudeformede ferrocementkassetter og overstøbt med armeret beton.

Det sidste store bygningsværk, hvor ferrocement indgik som grundbestanddel var i den Olympiske hal, "Palozzetto dello Sport" i Rom, projekteret af Nervi i 1956.



Palazzetto dello sport. Rom 1956. Projekteret af P. L. Nervi

Præfabrikerede ferrocementkassetter, hvor der imellem kassetterne blev nedlagt armeringsjern, og støbt over, udgjorde den næsten 60 m store cirkulære hvælving.

I Palazzo dello Sport i Rom fra 1960 benyttede Nervi isostatisk formede præfabrikerede ferrocementkassetter i dækket over kælderen, rundt i bygnings yderzone.

Alle de bygninger hvortil Nervi projekterede ferrocementkomponenter, blev seriefremstillet på fabrik, men med manuelle arbejdsprocesser.

I Østeuropa, og især i Sovjetunionen, blev der i 50-erne igangsat forsøg for at anvende ferrocement til bygningsproduktion.

I perioden 1957-61 har Udviklingsafdelingen under RSFSR Statslige Byggekomité's Landbrugsafdeling i USSR foretaget studier over muligheden af at anvende ferrocement til fabrikation af bærende eller supplerende ferrocementkonstruktioner i landbrugsbygninger og dertil hørende anlæg.

På grundlag af disse forskningsarbejder og praktiske forsøg, blev der i begyndelsen af 1961 udgivet en publikation: "Midlertidig introduktion til projektering og planlægning af tyndvægede beton-reservoirer og betontage til landbrugsbyggeri". Report nr. VSN/BCH 00-61, og derefter udarbejdedes bygnings- og anlægsprojekter, der tillod produktion af afprøvede typer af ferrocementkonstruktioner i landbrugsbyggeriet.

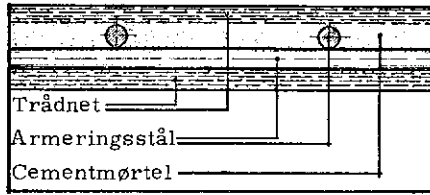
#### FERROCEMENTENS KARAKTERISTIKA

Ferrocement eller rettere mikronetarmeret beton, er betegnelsen på et konstruktionsmateriale bestående af en finkornet, cementrig beton med armeringen jævnt fordelt over hele tværsnittet i form af et finmasket trådnæt i tætliggende lag omkring en spinkel centerarmering af armeringsjern og med konstruktionstykkelser fra ca. 10 mm og op til ca. 45 mm.

Ferrocementen arter sig som et homogent, elastisk materiale med høj trækstyrke, der tillader udførelser af skalkonstruktioner og spinkle elementer, med en mindre egenvægt end det er muligt at opnå med al-

mindelig armeret beton.

Ferrocement har en struktur, der gør det beslægtet med fiberarmerede materialer, som asbestcement og glasfiberarmeret plast. Denne struktur giver ferrocementen egenskaber, der er velegnet til at formgive i tynde og krumme flader.



Princippet i en ferrocementplade

Ferrocementens bøjningstrækstyrke kan regnes 4-5 gange større end for en tilsvarende uarmeret beton. Trådnetarmeringen forstærker endvidere cementmørtelen, idet der om hver tråd danner sig en "betonskal" på 2 til 3 mm tykkelse med tilsyneladende højere trækstyrke. Ved adhæsioner mellem cementmørtelen og tråden bliver disse betonskaller forhindret i at bryde, da cementmørtelens adhæsion med tråden er større end dens trykstyrke. Er afstanden mellem trådene endvidere så lille, at de enkelte betonskaller som danner hele små betonstave, skærer hinanden, så opnår vi en tilsyneladende trækfast beton.

Trådnetarmeringen bevirker ligeledes, at revneantallet forøges, svarende til en revneafstand lig med maskevidden i trådnettet, samtidig med at vidden af den enkelte revne formindskes tilsvarende.

Trykstyrken i ferrocement er ca. 25% højere i forhold til uarmeret beton for trykretning parallelt med nettene og mellem 50 og 100% for trykretning vinkelret på armeringsnettene.

Af stor betydning for ferrocementkonstruktioners holdbarhed og specielt korrosionsbestandighed er ferrocementens vandtæthed. Den finmaskede netarmering forøger vandtætheden betydelig og især den cementrige mørtel bidrager til materialets korrosionsbestandighed, dels ved ringere kapillarvirkning og ved sin passiverende virkning.

## MATERIALESAMMENSÆTNING

Ferrocement er karakteret dels af sit store indhold af armering og dels af cementmørtelens høje cementindhold.

Armeringsindholdet pr.  $m^3$  ferrocement ligger på 400 til 500 kg og armeringens specifikke overflade ligger mellem 2,0 og 3,5  $m^2$  pr.  $m^3$  ferrocement. Cementindholdet ligger mellem 600 til 1000  $kg/m^3$  med et cement-/sandindhold fra 1:3 til 1:1. Vand/cement-forholdet er normalt 0,35 og bør ikke overstige 0,40.

Ferrocements rumvægt ligger således på 2350 til 2600  $kg/m^3$ .

Armeringen i ferrocement kan deles i to kategorier: Cementarmering, d. v. s. rundjern eller fladstål og trådnæt. Centerarmering kan være almindelig rundjern St. 37, kamstål eller ten-tonstål, og med diameter på 5 til 15 mm, anbragt med en indbyrdestæthed fra 5 til 15 cm. Svejsede trådnæt kan også anvendes. Fladstål som Heig tensile-kvalitet med max. dimension på ca. 5x25 mm er særdeles velegnet, men er dog ikke sjevsbar. Trådnettet er af almindelig blødt stål, eventuelt galvaniseret, med tråddiameter fra 0,5 til 1,6 mm og maskevidder fra 5 til 20 mm. Maskerne kan være hexagonale eller kvadratiske, og vævede eller svejsede. Kvadratisk svejsede net er dog mest velegnet. Strækmetal kan også anvendes, men er mindre velegnet ved dobbeltkrumme flader.

Cementen der anvendes er almindelig portland, dog til skibsfremstilling kan det være fornuftigt at anvende sulfatbestandig cement.

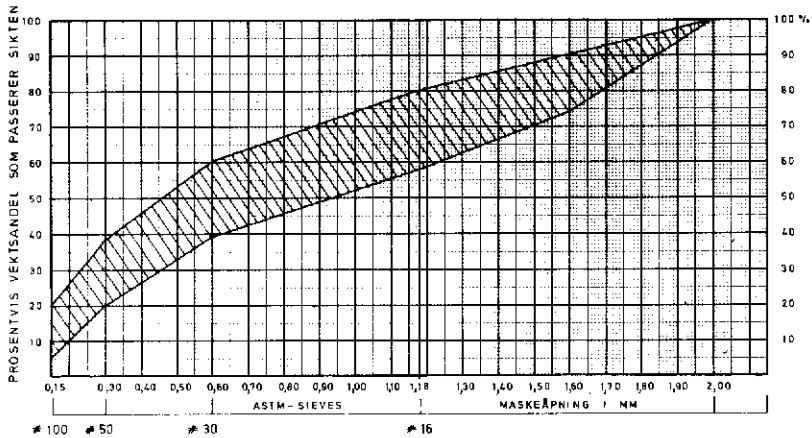
Som tilslagsmateriale anvendes kun sand, og med største kornstørrelse på 3 mm, med mindst 8-10 vægtprocent materiale mindre end 0,125 mm. Sandet bør være rent kvartssand og ikke skarpkantet, for at holde et så lavt v/c-tal som muligt.

Der kan anvendes tilsætningsstoffer for at reducere vandbehovet, ved f. eks. at tilsætte luftindblandingsstoffer svarende til 3-4% indblandet luft.

Ubetydelige mængder af Chronedioxide kan tilsættes blandevandet, hvis

der anvendes galvaniseret net for da at modvirke en galvanisk strøm, der ellers vil medføre en brintudvikling omkring trådnatarmeringen. Puzzolaner i indtil 10-15% af cementvægten kan tilsættes for at opnå større bearbejdelighed og tæthed og mindre svendrevner.

M. h. t. overfladebehandling kan ferrocement betragtes som almindelig jernbeton, og isoleringsmæssigt kræves kun særbehandling ved brand-isolering, idet ferrocement her må behandles som en stålkonstruktion, p. g. a. at det ringe mørteldæklag på 2-3 mm af armeringen.



Korngradering af støbesand

## HÅNDVÆRKSMÆSSIG UDFØRELSE

I forhold til almindelige betonkonstruktioner behøver ferrocementkomponenter ikke at støbes i form. Formgivningen af et element sker da i opbygningen af et stift skellet, som en centerarmering og herpå fastgøres trådnettene.

Der kan også opbygges en træform, hvorpå center- og netarmering fæstnes. Ved denne metode kan centerarmeringen eventuelt udelades, dog afhængig af form og anvendelse.

Mørtelen kan påføres med hånden med et pudsebrædt eller med sprøjte, og en vis vibrering kan være nødvendig for at sikre, at cementmørtelen komprimeres effektivt omkring armeringen.

Ved ferrocementkonstruktioner må det nøje påses, at den forrest udstøbte mørtel holdes fugtig de første 28 døgn for at hindre, at overfladen krakelerer. Det er også muligt at damphærde ferrocement, hvorved den samlede produktionstid kan forkortes.



Armering fastgøres til form



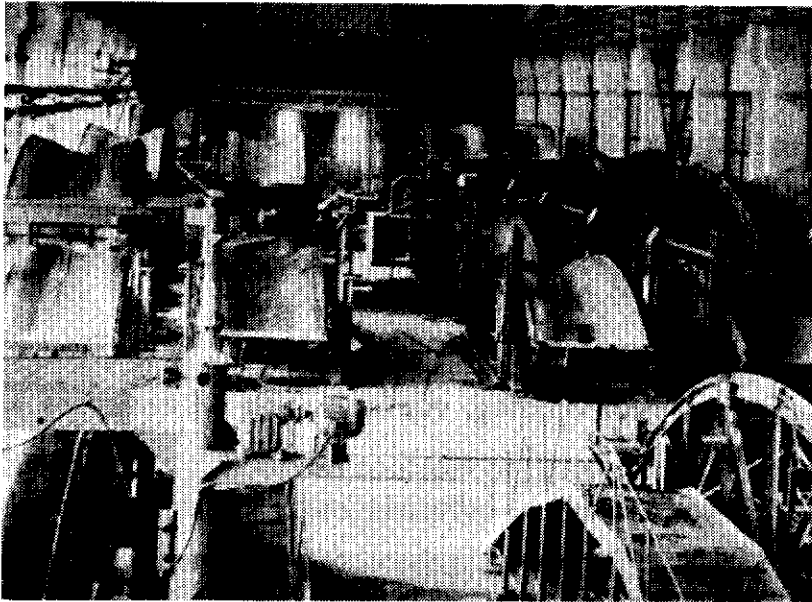
Cementmørtel pudses på armering

## INDUSTRIEL FREMSTILLING

En forudsætning for anvendelse af ferrocement i nutidigt byggeri er, at ferrocementkomponenter kan fremstilles industrielt og det er derfor essentielt, at der udvikles en industriel teknologi, der gør det muligt at seriefremstille ferrocementprodukter af høj kvalitet.

For at en fremstillingsproces skal være mulig i en industriel storproduktion, skal fremstillingen af armeringen og udstøbningen af cementmørtelen være mekaniske processer, idet disse processer er de grundlæggende faser for en produktion. De metoder der hidtil har været anvendt ved industriel fremstilling af ferrocementkomponenter har været af manuel karakter. Således, som de af ingeniør P.L. Nervi, præfabrikerede halvkonstruktionselementer fra slutningen af 40-erne og i 50-erne.

Der er idag udviklet processer for mekanisk fremstilling af armeringsenheder, hvilket hidtil har været den mest tidskrævende manuelle ar-



Tagelementproduktion med trykvibrationstøbning i USSR

bejdsproces.

Armeringsenheder, oftest bestående af både centerarmering og netarmering, kan nu samles ved hjælp af elektrosvejsning og modstandssvejsning i automatiske produktionsanlæg.

Ved en efterfølgende proces er det muligt at formpresse eller koldvalse plane armeringsenheder til en ønsket enkel- eller dobbeltkrum form.

De mekaniske støbeprocesser, der nu anvendes bygger alle på frisk cementmørtels gode plastiske evne. Det kan være enten ved vibrering, hvorved mørtelen fordeler sig jævnt, eller ved transport gennem en mørtelpumpe.

Ud fra disse to principper er der udviklet mange forskellige støbemetoder for mekanisk, automatisk udstøbning.

Ferrocement har som husbygningsmateriale hidtil ikke haft stor udbredelse i den vestlige verden, hvorimod der i de østeuropæiske lande er udført eksperimenter og bygget en mængde forskellige elementer, hovedsagelig tagelementer, af ferrocement. Der er stort set anvendt de samme konstruktive principper, som Nervi brugte, men man har i højere grad mekaniseret selve elementfremstillingen, og derfor i stort omfang brugt udstøbning af elementerne i forme.

#### Armeringsfremstilling

Ved storproduktion af ferrocementlaminater er fremstillingen af armeringen den del af fremstillingsprocessen, der er den vanskeligste og mest tidskrævende fase og den største hindring for en egentlig industrialiseret serieproduktion.

Den produktion, der hidtil har været, er da også i stor udstrækning en kombination af en manuel bearbejdning suppleret med forskellige maskinelle hjælpeaggregater. Armeringsfremstillingsfasen kan deles i to: Fremstilling af centerarmeringen og beklædning med trådnetarmeringen.

Den første fase er teknisk set ret simpel, hvis det er ferrocementelementer med enkeltkrum form, idet der så kan benyttes punktsvejsning/modstandssvejsning til at samle centerarmeringen med og derefter formpresse det svejste gitter. Det er samme svejsemetode der anvendes ved fremstilling af de stålnet, der idag benyttes til armering af store beton-



flader.

Centerarmeringen ved dobbeltkrumme ferrocementlaminater må ofte fremstilles enkeltvis og da samles v. h. a. almindelig elektrosvæjsning eller med manuel trådbinding. Der er udviklet en metode, hvormed centerarmeringen forspændes over en form og yderligere ved hjælp af afstandsholdere i kunststof eller beton, holdes fri af formen. Denne metode sikrer tillige en nøjagtig centerarmeringsplacering. Spiraler har vist sig velegnede som afstandsholdere.

Omkring centerarmeringen skal trådnetarmeringen hæftes. Denne fase udføres ofte manuelt, ved at nettene bindes indtil centerarmeringen med ståltråd.

Netarmeringen behøver nødvendigvis ikke at være forbundet til centerarmeringen, og i lighed med forspændt centerarmering kan netarmeringen også forspændes, men i så fald kan der ikke benyttes hexagonal trådnet.

Forspændingsmetoden af såvel centerarmering som netarmering vil kunne give et ferrocementlaminat en yderligere styrke, hvis det er den rette form.

En dansk opfinder, Søren Basse, har udviklet en speciel form for modstandssvejsning, som er blevet provisionalpatent anmeldt i Storbritannien.

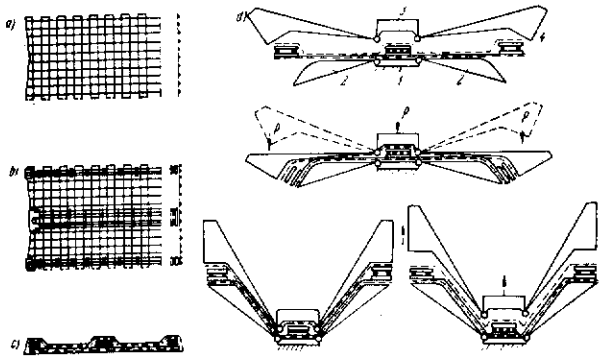
Hidtil har det været vanskeligt at modstandssvejs et tyndt emne sammen med et emne med større godstykkelse, f. eks. armeringstrådnet til rundjern, hvilket vil sige et masseforhold på ca. 1:35.

Disse vanskeligheder synes at være løst med Søren Basses metode, hvormed der åbner sig nye muligheder for en automatiseret serieproduktion af ferrocementlaminater, idet selve netbindingen hidtil har været den mest arbejdskrævende proces.

I USSR er udviklet processer, hvorved der fremstilles armeringslaminater, der er færdigmonteret lige til at placere i en støbeform.

Armeringslaminater samles plant, enten manuelt eller ved svejsning og kører derefter igennem stålroller. Denne proces kendes fra de koldvalsedede stålprofiler. En anden proces består i at et plant armeringslami-

nat i en matrisse, formpresses til den givne form.



Skema for fremstilling af armering  
a. svejsning af centerarmering  
b. på svejsning af længdearmering  
c. på svejsning af netarmering  
d. formpresning af armeringen.

### Støbemetoder

Vibrationsstøbning i dobbeltform.

Metoden beror på cementmørtelens evne til ved intensiv vibrering at blive velflydende. Cementmørtelen kan ved denne metode tilsættes plastificerende stoffer for at opnå større bearbejdelighed og luftindblandede tilsætningsmidler for at mindske separationstendensen.

Ferrocementelementerne fremstilles i en dobbeltform af stål. Ved mindre komponenter placeres formen på et vibrationsbord, men ved større komponenter er vibratorer anbragt på selve støbeformen.

Den færdige armering anbringes i støbeformen, og cementmørtelen render gennem en åbning i støbeformens overside, ned i formen og bliver komprimeret jævnt omkring armeringen i kraft af vibrationerne. Efter at ferrocementen er damphardt kan den afforskalles.

Metoden er særdeles velegnet til bygningskomponenter med dobbeltkrum form og til en mindre fabrikation da støbeformforbruget er stort.

## Glidende vibrationsstøbning

Fundamentsformen er en massiv betonblok, hvis form svarer til elementets underside. På skinner anbragt langs med fundamentsformen er anbragt en støbeslæde.

Støbeslæden består af en forsyningsbeholder til den færdigblandede cementmørtel, en fordelingslidske og en slæbesko, der skal komprimere cementmørtelen, hvis form svarer til elementets overside og på hele denne anordning er anbragt vibratorer. Denne slæbesko er anbragt i en højde over fundamentsformen, der svarer til elementets tykkelse.

Fremstillingsprocessen er følgende:

Støbeslæden bevæger sig hen over fundamentsformen, hvorpå armeringen er anbragt. Cementmørtelen glider af fordelingslidsken ned på armeringen og af slæbeskoen og ved hjælp af vibrator presses her mørtelen ned igennem armeringen og efterglattes til sidst af en glidesko.

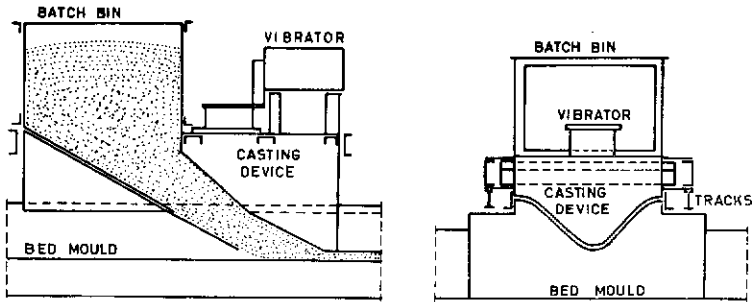


Fig. 1 Støbeslæde

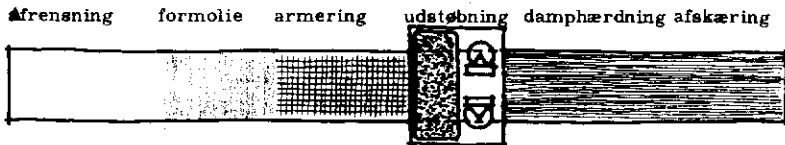
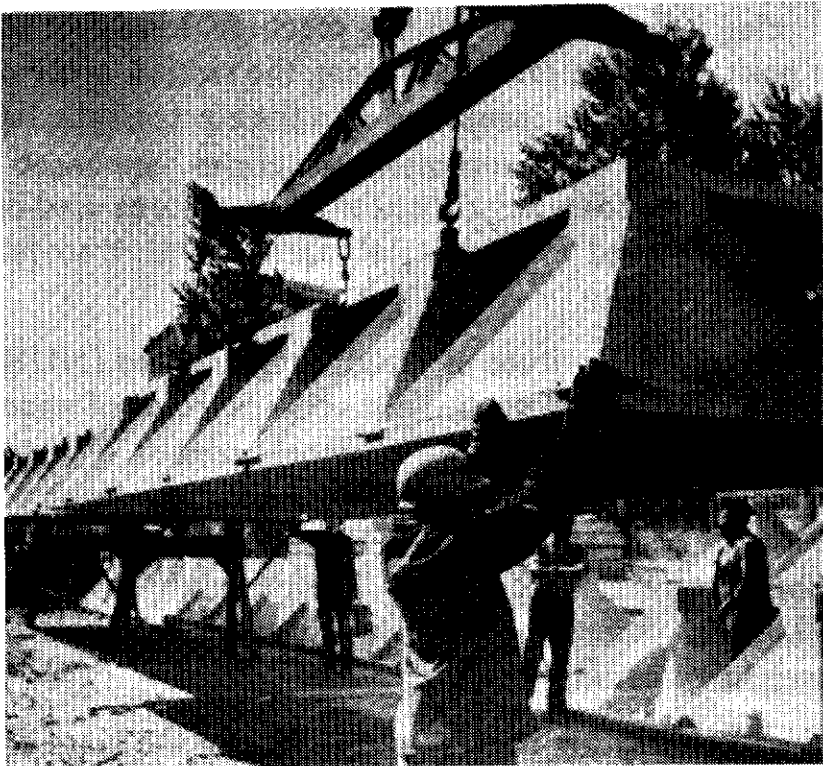


Fig. 2 Fremstillingsprocessens forløb

### Trykvibrationsstøbning.

Metoden er velegnet til komplicerede u-formede elementer og til en automatiseret serieproduktion.

Elementerne fremstilles af en støbeform, hvori der anbringes en formkerne, der i udstrækning og krumning passer med matricen. Dette princip kan benyttes på flere måder, idet matricen kan være fast forankret til et fundament, eller ophængt så den kan sættes i vibrationer. Formkernen kan alene udøve tryk p. g. a. sin egenvægt, eller både udøve tryk og sættes i vibrationer. Formkernen bevæger sig kun i lodret retning, hvorved afstanden til de ikke vandrette flader aldrig bliver mindre end det færdige elements tykkelse.



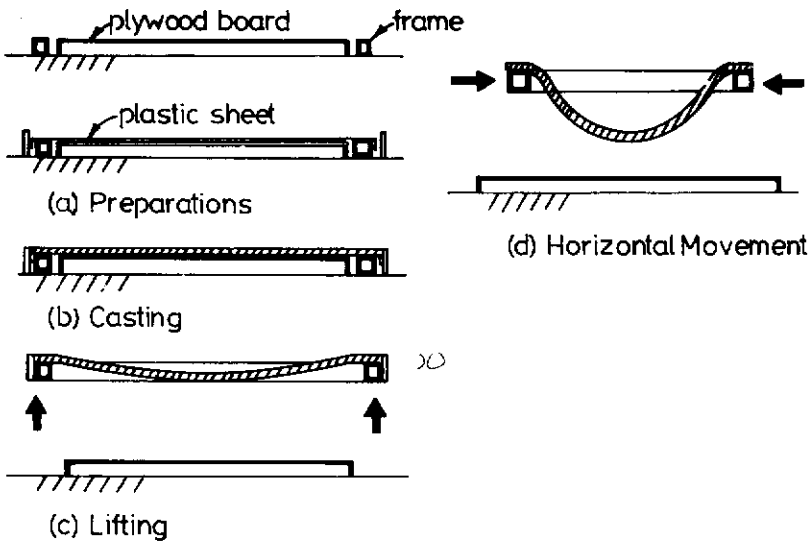
Ferrocementtagelement fremstillet v. h. a. trykvibrationstøbning

### Deformeringsstøbemetoden.

Denne metode udnytter den egenskab, at et tyndt lag cementmørtel er formbart indtil hærdeprocessen begynder, uden at ødelægge den størk-  
nende cementmørtels form og struktur.

Fordelen ved denne metode består i, at der først kan udstøbes en plan  
plade, hvorefter deformationen finder sted til den endelige form. Her-  
med kan fremstilles bygningslementer med enkelt- og dobbeltbuede og  
foldet tværsnit.

Deformeringsmetoden kan udføres på fire forskellige måder: Løftedeform-  
ering, foldedeformering, rulledeformering og krumningsdeformering.



### Løftedeformering.

Ved denne metode opstår deformationer, og det vil her sige nedbøjnin-  
ger som følge af ferrocementpladens egenvægt.  
Støbeformen består af en stiv jernramme, hvorpå der er fæstnet en ela-  
stisk membran, der hviler på et plant underlag. På membranen støbes  
en ferrocementplade, og rammen løftes umiddelbart efter udstøbningen,  
hvorved ferrocementpladen vil bue nedad.  
Ferrocementpladen må nu blive i denne position og kan afmonteres, når  
elementet er hærdet.

### Foldedeformering.

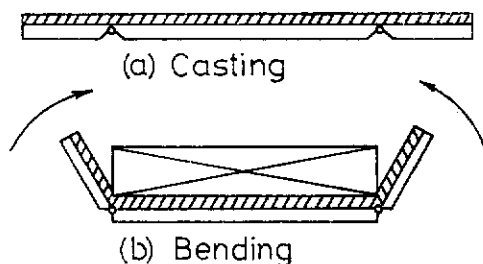
Metoden er udviklet af den russiske ingeniør Shanchiev og er baseret på en plan støbt ferrocementplade, der ved foldning får den ønskede form. Formbunden består af en fast central del fastgjort til fundamentet og af op- eller nedklappelige sideplader. Ledfugerne er tildækket med elastiske plader eller gummistrimler.

Længderibber kan udføres ved passende fordybninger i formbunden, og det samme gælder for tværribber. Disse kan dog kun udføres i mindre tykkelse, da de i tilfælde af at større dimensioner ødelægges omkring bøjningspunkterne.

Til fremstillingen af de plane byggelementer, anvendes hovedsagelig den stationære vibrationsstøbning med dobbeltform.

Netarmeringen udlægges på formens bund, fastgøres til formkanten for at sikre armeringens nøjagtige placering. På denne måde vil det også være muligt at fremstille formspændte elementer.

Efter støbningen af den plane plade, foldes sidefladerne. Det er fordelagtigt før foldning epefter at have en kerne på den faste del, imod hvilke sidefladerne bøjes. Ved en kort eftervibrering af kernen samles cementmørtelen omkring foldepunkterne og desuden bliver elementets overflade glat.



Princippet for foldedeformationsstøbning

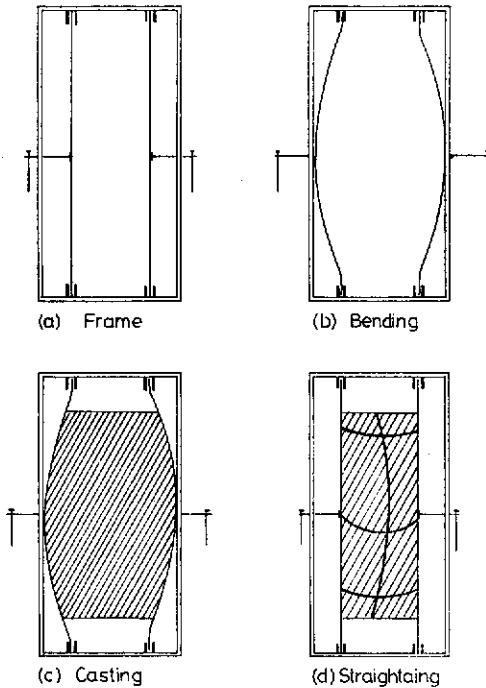
### Krumningsdeformering.

Metoden er anvendelig for fremstilling af dobbeltkrumme elementer.

Fremstillingen foregår ved, at der støbes en plan ferrocementplade f. eks. ved vibrationsstøbning i en dobbeltform. Formbunden er belagt med en elastisk membran fastgjort til en ramme med to bøjede fleksible sidevanger.

Ved at hæve basisjernrammen og samtidigt slække på de bøjede sidevanger vil ferrocementpladen krumme nedad p. g. a. egenvægten og et dobbeltkrumt element er frembragt.

Elementets højde og dermed stivhed og spændvidde kan bestemmes med buestørrelsen af de fleksible sidevanger, foruden naturligvis af mængden af armeringsindholdet.



### Rulledeformering.

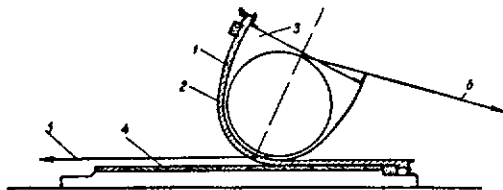
Der findes to metoder der kan benævnes som rullemetoder.

En metode til at fremstille åbne vandrender og lignende truglignende elementer, og en metode til fremstilling af trykrør.

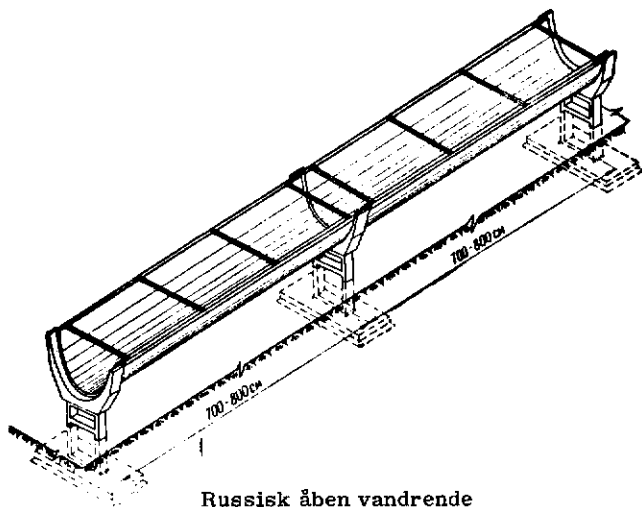
Begge fremstillingsprocesser begynder med, at der udstøbes en plan ferrocementplade, f. eks. ved rullende vibrationsstøbning.

Ved trugfremstilling anbringes, på den endnu fugtige ferrocementplade, en form, og ferrocementpladen fæstnes til formens kant, hvorefter den rulles henover ferrocementpladen og skal nu blive siddende på formen indtil elementet er hærdet. Hærdeprocessen kan fremskyndes, hvis der er indbygget varmerør i rulleformen.

Ved rørfremstilling føres den støbte, afskrårede ferrocementplade hen ad et transportbånd, og af en roterende cylinder, bukkes sidefladerne mod hinanden. Denne proces kan gentages med flere lag, hvor samlingerne forskydes fra hinanden, indtil røret har den ønskede tykkelse, og cylinderen med det færdigstøbte rør tages ud af støbemaskinen og hærdes.



Princip for fremstilling af trugformede ferrocement elementer



Russisk åben vandrende



### Produktionsenhed for ferrocementplader

Disse forslag til storproduktion af ferrocementplader som her kort beskrives, er provisionalpatentansøgt i Storbritannien af Søren Basse:

Fra trådruller, en for hver netstreng i det ønskede antal netlag, ledes tråde ned på et transportbånd, hvor trådene afskæres og modstands-svejses til et i kanten udrullet båndstål.

De nu svejste armeringsnet føres over på et 2-3 mm tykt mørtellag, som er hærdet 1-2 timer i forvejen. Plade og net føres videre og overstøbes og vibreres, føres videre til en vakuumsuger, der fjerner overskydende vand, og eftervibreres og ind i damphærtningsrum. Når hærtningen er næsten tilendebragt, afskæres pladerne i passende længder og efterhærdes. Pladen tages af formen, båndstålet afskæres og kanterne renskæres, hvorefter pladen er færdig.

Søren Basse har endvidere provisionalpatentansøgt i Storbritannien metoder til produktion af ferrocement-tanke og -rør med rustfri stål inderside og ferrocementpaneler ligeledes med rustfri stål overflade. Disse metoder benytter alle Basses egne metoder for modstandssvejsning, hvormed trådnettene fæstnes til den rustfri stålplade. Metoden rummer desuden den fordel at stålpladen udgør formmaterialet.

### Produktionsanlæg i USSR

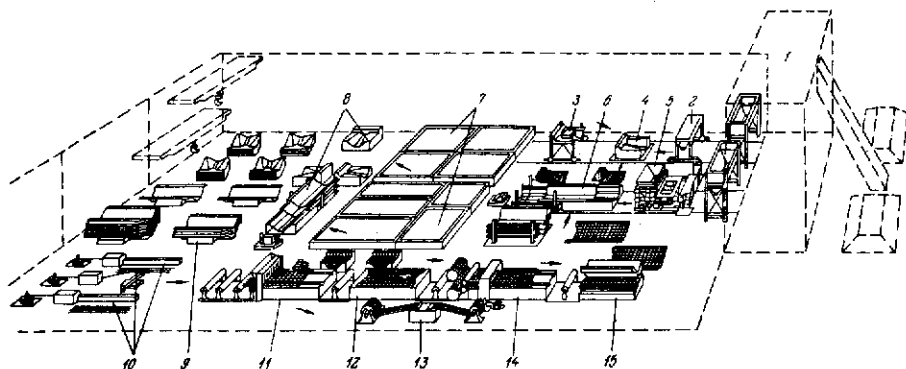
I USSR er der udarbejdet et projekt til en ferrocementfabrik til fremstilling af tagelementer, hvori indgår følgende produktionsenheder: Cement/sand blandaanlæg, halvautomatisk anlæg for fremstilling af armering, støbemaskiner, damphærdekamre og lager for færdigfremstillede elementer.

Fabrikationsprocessen begynder med fremstilling af armeringen. Først bliver centerarmeringen sammensvejet. Dette flade armeringslag bliver derefter bukket i en specialpresse.

Elementfremstillingen følger nu to produktionslinier. Aflægnings-elementerne bliver fremstillet ved tryk-vibrationsstøbning og de rette elementer ved glidende vibrationsstøbning. Elementerne bliver støbt på en

formbund, som derefter damphærdes i dertil indrettede kamre. Fabri-  
kens kapacitet er 250 til 300 m<sup>2</sup> ferrocementelementer pr. arbejds-  
hold.

Formaggregatet til den glidende vibrationsstøbning består af en mørtel-  
tragt, der rummer 1,7 m<sup>2</sup>, en profilslæbesko, hvor en vibrator er  
monteret og på selve vibrationskernen er monteret 4 vibrato-  
rer. Alle formaggregatets dele er monteret på en ramme der igen bevæger sig  
på skinne i gulvet. Hele formaggregatet vejer 5,5 tons og er 2,4 m  
langt, 4,7 m bredt og 2,5 m højt.

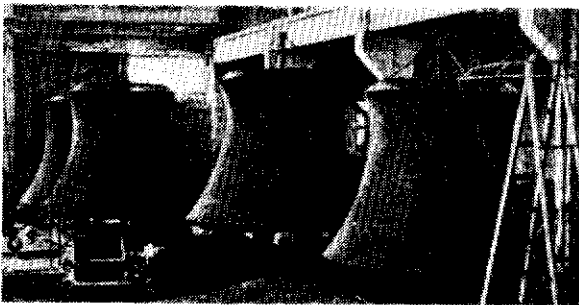
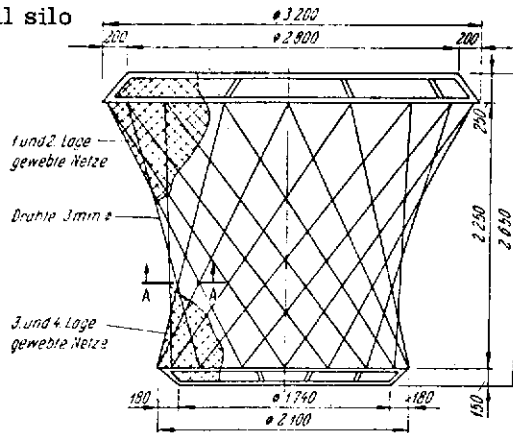


### Præfabrikation i USSR

Til anvendelse i større landbrugskollektiver er der udviklet beholdere til opbevaring af vædsker o. lign. i størrelser op til  $300 \text{ m}^3$ . Beholderne er høje og cirkulære og har form som en hp-skal, d. v. s. at der i plan med siderne kan lægges krydsende, rette frembringere i form af armeringsnet.

Beholderne består af en 2 til 3 cm tyk ferrocementvæg af hyperbolisk form, der reduceres nedefter af øvre og nedre ringbærere. Bunden og dækpladen er udformet som sfærisk buede skaller, der fremstilles sær-

### Center- og netarmering til silo



Russiske ferrocementsiloer

skilt og monteres senere.

Armeringen består af en øvre stålring med ståldiameter 16 mm, en nedre ring ligeledes med ståldiameter 16 mm eller af en præfabrikeret stålbetonring, og af de langs med den lige side af fladen forspændte tråde med diameter 3 mm. På dette armeringskelet spændes udvendig tre net og indvendig et net, som knyttes sammen.

Beholderen er i ringens retning spændt for træk, men i meridianretningen for tryk. Der er foretaget forsøg, der har vist, at den armerede cement forholder sig fuldkommen elastisk, hvorved beholderne er absolut tætte.

Beholderen fremstilles i hængende stilling. Der er udviklet en speciel konstruktion, der består af en understøtning med en derpå ophængt drejelig, stiv ringbærer af stålprofiler. Ved mindre beholdere kan ringbæreren også ophænges i en løbeskinne, hvorved beholderne fremstilles på samleband.

Den øvre armeringsring ophænges på ringbærerne, og ved hjælp heraf ophænges de på langs af den lige side opspændte tråde af den nedre stålbetonring. Ved hjælp af ophængte lodder opnås en montageafstivning og således et stabilt leje af hele armerings skelettet. På dette skelet vikles trådnettene og opspændes ligeledes i sidens retning. Hele armeringskurven kan drejes som karussel om sin akse, hvilket letter fremstillingen betydeligt.

Der anvendes en beton med blandingsforhold 1:1 og et vandcementtal på 0,38. Betonen kan pudses manuelt. Dog har man opnået gode resultater med et mørtelsprøjteapparat. Her var dog en forudgående vibrering nødvendig. Desuden blev der ført trykluft ind i ledningen for at opnå en bedre kompression. Derpå bliver betonen efterkomprimeret og glattet med en lille vibrationsse.

Beholdere op til 25 m<sup>3</sup> rumfang kan transporteres på sædvanlig lastbil. I tilfælde af større beholdere er det muligt at præfabrikere armeringskurven, medens betonstøbningen foregår på byggepladsen.

## FORSKNING

Interessen for ferrocementforskning er steget stærkt indenfor de sidste 20 år. I USSR blev der i slutningen af 50-erne igangsat flere store forskningsprojekter. I USA, Polen, Tjekkoslovakiet og DDR kom der gang i ferrocementforskningen i 60-erne og indenfor de sidste 7-8 år er der i udviklingslandene igangsat store udviklingsprojekter for anvendelse af ferrocement.

I de vestlige lande og Østeuropa er forskningen sat ind på en industrialiseret anvendelse, og for at udnytte ferrocementens strukturelle og materialeøkonomiske egenskaber. I udviklingslandene derimod sættes fortrinsvis på den enkle fremstillingsteknik og en arbejdsintensiv produktudvikling.

Den østeuropæiske ferrocementforskning er i dag på et meget højt stade, idet disse lande har investeret enorme summer i udviklingen af byggekomponenter i ferrocement. Igennem de sidste fire femårsplaner i USSR og Polen har ferrocementforskningen fået bedre og bedre vilkår. Hertil skal også bemærkes, at byggeindustrierne i netop disse lande har et stort behov for fornyelse af sit elementboligbyggeri, og det gælder såvel den fysiske planlægning som selve produktionsapparatet.

Ferrocementforskningen i USSR foregår idag på tre forskningsinstitutioner med hvert sit anvendelsesområde. Forskning for landbrugsbyggeri foregår på RSFSR, Forskningsinstituttet for Landbrugsvidenskabelige Bygningsvæsen, Moskva, og hører under Landbrugsministeriet. Her arbejdes der med udvikling af tagkonstruktioner til landbrugsbygninger, siloanlæg, vandreservoirer, o. lign.

Forskning for industribyggeri og større bærende konstruktioner foregår ved NIISK, Forsknings og Videnskabs Instituttet for Bygningsstrukturer i Leningrad. Dette institut har til Kiev Promstroy Kombinat udviklet et loftselement udformet som en cylinderisk skal. Elementet er 6 m langt og 1, 2 m og 2, 4 m brede. Totalhøjden er 30 cm og godstykkelserne 20 mm. Dette element produceres nu i en mængde af ca. 5000 stk. pr. år ved hjælp af den stationære vibrationsstøbning.

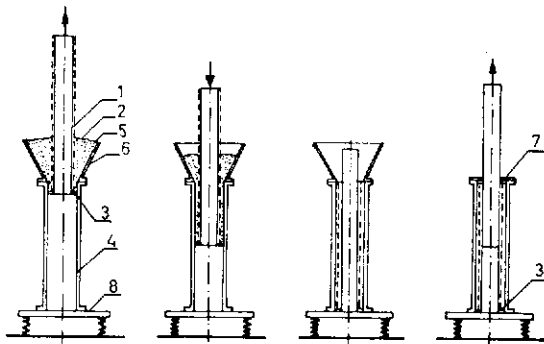
Ferrocementforskning til boligsektoren foregår på Akademia Budownictwa Architekturas, og er Leningrads arkitektskoles forskningsafdeling.

I Polen arbejdes der med ferrocementforskning på Warszawas Polytekniske Højskole og Lodz Tekniske Universitet.

Under Warszawas Polytekniske Højskole er der oprettet et ferrocementlaboratorim. Her gøres forsøg med højtryksrør, komplette rumunits, bærende facadepaneler og tagelementer.

Højtryksrørene fremstilles ved en speciel type glidevibrationsstøbning, hvor armeringen presses ned gennem en tragt, hvori cementmørtelen vibreres ind i armeringen og ned i et støberør. Et 5 m langt rør med en diameter på indtil 120 cm kan fremstilles fuldstændig mekanisk på ca. 20 min. Der fremstilles også specielle rør i indtil 280 cm i diameter, hvor den indvendige halvdel af røret er glasfiberarmeret polyester epoxy beton. Disse rør har særdeles stor modstandsevne overfor aggressive vædsker.

For et skibsværft i Gdynia har laboratoriet udviklet en vådrumsunit, 1,5 x 1,2 x 2,2 m, og med en vægtykkelse på 6-8 mm, 5 mm i tag og 20 mm i gulvet. Hele unitet vejer med sanitet og rørføringer ca. 400 kg, og indbygges nu i et stort antal i nye passagererskibe fra værftet. En unit af samme karakter, men ca. dobbelt så stort er udviklet til boligbyggeri. Laboratoriet har for Invest Projekt i Lodz udviklet et system af bærende facadepaneler og tagelementer til 2-etagers boliger. Systemet består af 30 cm brede u-formede elementer med varierende flankehøjde og godstykkelse afhængig af om det er dækdragere eller søjleelementer. Vægten på elementerne varierer fra 14 til 28 kg pr. lm.



Fremstillingsproces: 1 trådnet, 2 indv. form, 3 slutring, 4 udv. form, 5 mørtel, 6 tragt, 7 stopring, 8 vibrator.

Støbeprocess til rørfremstilling



Facade-dæk-og søjleelementer. Ferrocementlaboratoriet Warszawa 1977

På Lodz Tekniske Universitet har ingeniør B. Walkus været leder for ferrocementforskningen igennem mange år. På universitetet er der udført dybtgående teoretiske undersøgelser såvel som praktiske udviklingsarbejder, og bl. a. er der udviklet en støbeprocess for fremstilling af bølgeformede ferrocement tagelementer med spændvidde op til 16 m, og med en godstykkelse på 20 mm. I tilknytning til disse tagelementer er ligeledes udviklet en proces hvorved elementerne kan isoleres med et polymerskum på undersiden.

I Tjekkoslaviet er der siden 1960 forsket i anvendelsen af ferrocement. I 1962 blev der i Prag bygget en 30 m lang og 12 m bred flodlægte. Lægtereren havde en kapacitet på ca. 500 tons. Lægtereren var bygget op af præfabrikerede ferrocement bundplanker og skrotelementer på 120 x 120 cm og 60 cm i højden.

I Bratislava, på det slovakiske byggeforskningsinstitut, WVIS, er der udført omfattende ferrocementforskning.

I 1966 projekteredes og byggedes et stort auditorium med et kuppeltag med den bærende konstruktion af ferrocementkassetter efter samme principper som Nervi udviklede.

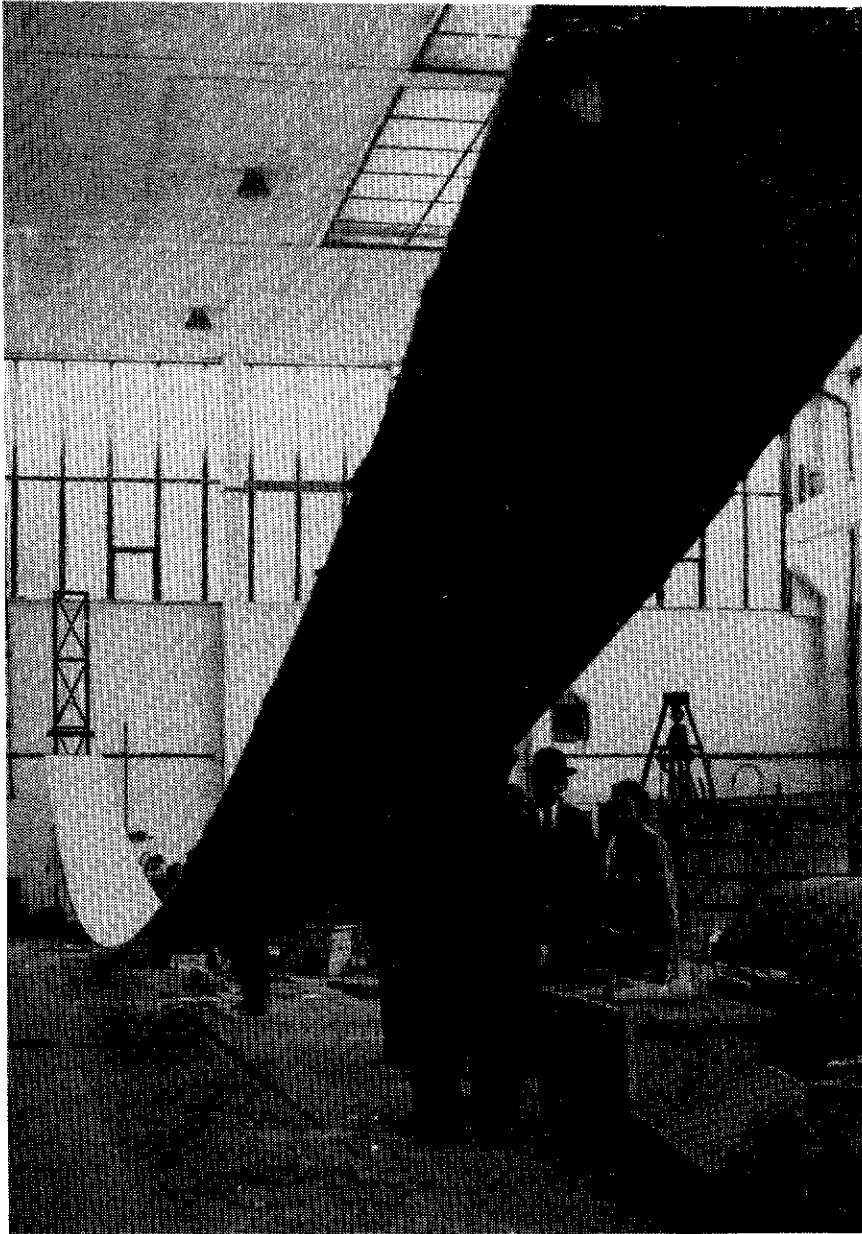
I 1967 udvikledes et ferrocementhænetag med et 36 m langt spænd. Tagpladen der er 1 m bred udstøbes plan med 20 mm tykkelse, og armeret med 2 lag 10 x 10 x 1 mm vævet net omkring en centerarmering bestående af 6 stk. 10 mm rundjern. Tagpladerne udstøbes 6 ad gangen ovenpå hinanden, og når pladerne er hærdet løftes de til en pilhøjde på 3 m og monteres umiddelbart derefter.

På WVIS har ingeniør Smola i 1976 udarbejdet tjekiske standarder for fremstilling af bygningskomponenter i ferrocement.

I DDR på Deutsch Bauakademi i Berlin og i Rumænien på Den Polytekniske Læreranstalt i Bukarest foregår der også ferrocementforskning, men ikke af så omfattende karakter som i USSR, Polen og Tjekkoslaviet.

I USA og især på University of Illinois, Dept. of Mat. Engrg. ved ingeniørerne Shan og Naaman er der foretaget en dybtgående teoretisk forskning, for at klarlægge ferrocementens karakteristika og muligheder, og denne forskning har videre resulteret i omfattende laboratorieforsøg og





.Hængende tagplade i ferrocement. WVUIS, Bratislava1967

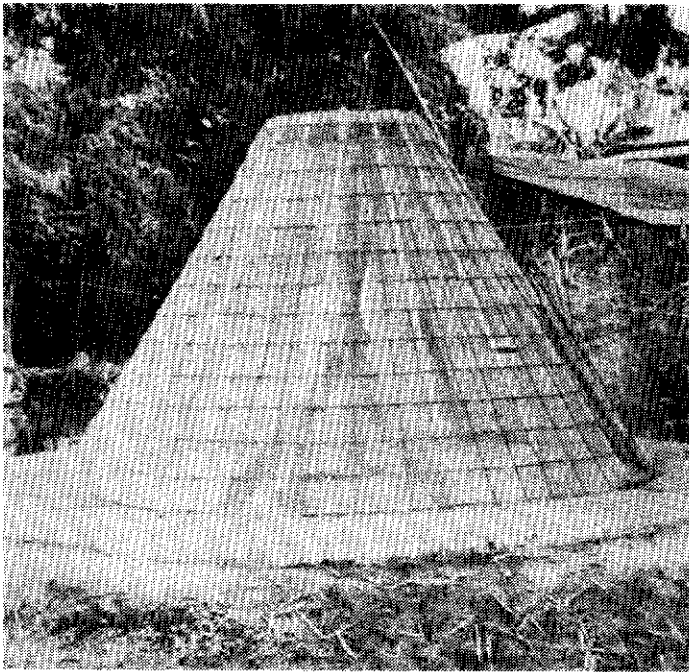
udarbejdelse af ACI standarder.

Ingeniør Lachance fra Laval University, Quebec City, Canada har udført ferrocementforsøg med bl. a. ferro-shot-crete ved vidt forskellige armeringstyper. Disse eksperimenter har banet vej for forbedrede og billigere støbemetoder.

I udviklingslandene og især i Asien er der iværksat omfattende udviklingsprogrammer for anvendelse af ferrocement.

På Asian Institute of Technology, AIT, Bangkok, Thailand er der oprettet International Ferrocement Information Center, IFIC, der formidler informationer og kontakter over hele verden. AIT, Applied Scientific Research Corporation of Thailand og The Siam Cement Co. Ltd. har i samarbejde forestået adskillige forskningsprojekter, så som vandbeholdere, biogastanke, rissiloer, flodlægttere, tagelementer og en lille 14 fods kanalbåd, også kaldet en sampan.

I Indien på Structural Engineering Research Center i Roorkee og Madras



Thailandsk risbeholder, også kaldet en thailo, der er klar til pudsning

og på India Institute of Science, Bangalore er udviklet og bygget havgående fiskefartøjer, tagkonstruktioner og meget forskelligt landbrugsudstyr.

I Danmark er der også udført forsøg med ferrocement, uden at der dog er nogen egentlig koordineret plan for dansk ferrocementforskning. På DIAB og på AUC er der udført styrke og deformations forsøg og på AUC yderligere, brandpåvirkningsundersøgelser. Ved Helsingør Skibsteknikum er der arbejdet teoretisk med ferrocement, og på Teknologisk Institut er der blevet bygget en 27 fods båd. Asmussen & Weber foretog for nogle år siden nogle forsøg med dækelementer af ferrocement, uden at det dog blev til nogen egentlig produktion. Derudover har en række enkeltpersoner her hjemme eksperimenteret og bygget ferrocementskibe, men der foregår ikke på nuværende tidspunkt nogen større kommerciel anvendelse af ferrocement.

På Kunstakademiets Arkitektskole arbejdes der med et forskningsprojekt: Udvikling af bygningskomponenter i ferrocement. Projektets målsætning er gennem et udviklingsarbejde at efterforske og påvise ferrocementens arkitektoniske og tekniske muligheder, såvel for industrialiseret byggeri som under forhold, hvor et produktionsapparat mangler, f. eks. i udviklingslandene.

#### ANVENDELSE SIDEN TRESSERNE

Som resultat af den forskning der er foregået, er der blevet opført en del byggerier, hvor ferrocement indgår som bærende konstruktion. I USA er det foreløbig skibsproduktion, der er fremtrædende, dog er der eksempler på ferrocementhuse med et stærkt organisk arkitektonisk udtryk, ligesom der er opført domes i ferrocement. I USSR opføres mange industri- og landbrugsbygninger med ferrocement som konstruktionsmateriale.

I England er der på New Hall College i Cambridge en tagkonstruktion over hovedbygninger der er udført af ferrocementskaller.

Den ungarske arkitekt Lovas har bygget sit eget hus i Frankrig af ferrocement. Skalkonstruktionen er armeret med strækmetal og cementmørtelen er sprøjtet på.

Tagkonstruktionen på Sydney Opera House er dækket med flisebelagte

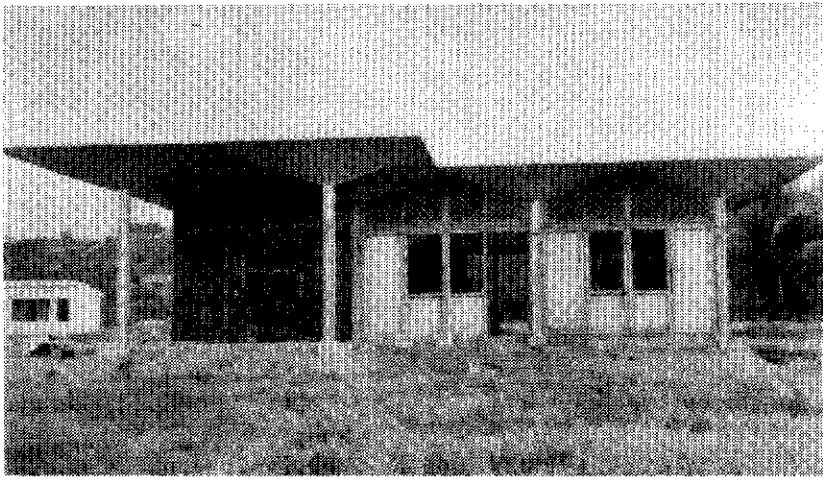
ferrocementplader.

UNIDO, United Nations Industrial Development Organisation og FAO, United Nations Food and Agriculture Organisation anbefaler i en rapport: Ferrocement: Application in Developing Countries, udarbejdet af The National Academy of Sciences, Washington, USA, at ferrocement bør benyttes i stor udstrækning i udviklingslandene inden for landbrugs- og fiskerisektoren.

Inden for de sidste år er der derfor også udført en mængde ferrocementkonstruktioner, og man efterstræber at udvikle metoder, der kan udføres efter traditionelle byggemetoder, men med forbedrede byggematerialer. Gode eksempler herpå er den thailandske vandkrukke og rissilo, thailoen, og den etiopiske nedgravede kornsilo, foruden forskellige typer både og fiskefartøjer, bl. a. den indiske runde coracle.

På Filippinerne fremstilles et søjle- og tagelement der er nøje tilpasset den traditionelle bygningstype og de klimatiske forhold.

Det filippinske tagelement udtrykker klart, hvad der i virkeligheden også burde være udgangspunktet for bygningsplanlægning i den vestlige verden.



Philipinsk ferrocementtagkonstruktion

For det industrialiserede betonbyggeris vedkommende, må vi derfor fremover formgive produkterne således, at der opnås styrke gennem formen og ikke gennem massen, og ud fra denne betragtning vil ferrocement være et oplagt alternativ.

#### LITTERATURREFERENCER

SHANNCKIEV, A. K. : Bending Technology for the Preparation of Spatian Elements made of Ferrocement. Ferrocement and Structures of Ferrocement, Moskva 1962.

ZINZADZE, G. A. : Technology for No-Form Preparation of Spatial Elements. Concrete and Reinforced Concrete. Moskva.

Manufacturing Technologies of Structural Elements Made of ferrocement  
Journal of Ferrocement, Vol. 8 no. 4, Oct. 1978. IFIC, Asian Institute of Technology, Bangkok.

LOBIANOV, I. A. : Press Shaping Elements of Ferrocement. Building Architecture, No. 8, Leningrad 1963.

HAIIDUKOVA, G. K. : Ferrocement Structures in Residential, Industrial and Farm Buildings. Moskva 1963.

DAHL & WEISE: Netzbewehrter Beton. Deutsche Bauakademie, Institut für Stahlbeton und Baukonstruktionen, Berlin, DDR, 1965.

Proceedings of the International Conference on Materials of Constructions for Developing Countries. Asian Institute of Technology, Bangkok. Aug. 1978. Side 661-803.

GRODSKIJ & GRODEK. Ferrocementkonstruktioner til landbrugsbygninger og -anlæg.

NI1-RSFSR - Den Statslige Byggekomites Landbrugsafdeling. Moskva 1962.

KLIMOV, N. I. "Automatition of Production of Ferrocement and Composite Structures", "Ferrocement and Structures of Ferrocement". Moskva 1962

ACHVERDOV, I. N. og SHAPIRO, Y. N. "The Rolling Machinery Characteristics", Concrete and Reinforced Concrete. No. 4, Moskva 1962.

Tentative regler for bygning og klassifikasjon av fartøyer av ferrocement. Det Norske Veritas. Oslo 1974.

Ferrocement Water Tanks and their construction. Watt. S. B. Intermediate Tech. Publ. London 1978.

ACI-Standards, mange nr. American Concrete Institute, USA

ABERCROMBIE, S. Ferrocement. Schock-Books, New York 1977.

PAUL, B.K. og PAMA, R.P. Ferrocement

JOEDICKE, J. The Works of Pier Luigi Nervi, The Architectural Press, London 1957.

PICA, A. Pier Luigi Nervi. Editalia, Rom 1969.

NERVI, P.L. Construire Corretamente. Hoepli, Rom 1965.

WALKUS, B.R. og MACKIEWICZ, A. Compositis as applied to the thin-walled structures in Poland, IASS-Bullitin nr. 64. Madrid 1960.

BYGGNASINDUSTRIEN nr. 29/1976.

CTO: Betonteknik-Sprøjtebeton.

ACI-Standard 506-66. Recommended. Practice for Shotcreting.

OCEAN INDUSTRY, Nov. 1970: Ferroshotcrete, a promising material. Ing. L. Lachance.

Ferrocement as a Material. Jehnbo Jensen. J.K. Institutet for bygningsteknik I.R. 7602. Aalborg Universitet Center 1976.

Forsøg med ferrocement. Holck.Niels. Rap. nr. 76:80.

RAM- DIAB 1976.

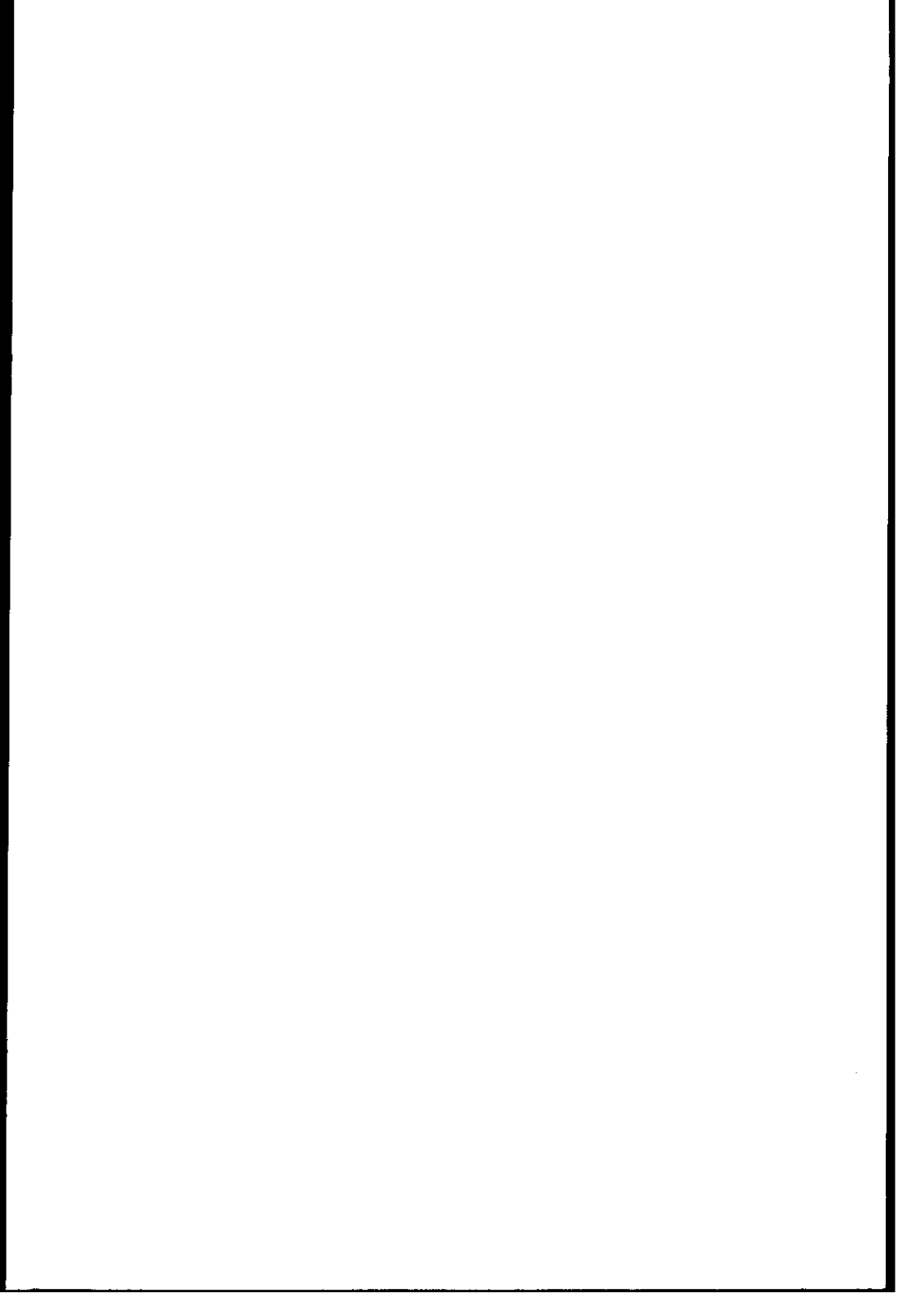
Ferrocement notater nr. 1-8. Interne rapporter, publiceres senere:

1. Oprindelse og tidligere anvendelse.
2. Materialer til fremstilling af ferrocement komponenter.
3. Håndværksmæssig fremstilling af ferrocementkomponenter.
4. Industriel produktion af ferrocementkomponenter.
5. Ferrocement i udviklingslandene - en studierejse
6. Ferrocement i Østeuropa - en studierejse.
7. Ferrocement - økonomiske/økologiske aspekter
8. Ferrocementexperimenter på K.A.

Freddie, Michael, Institutet for Byggeteknik, Kunstakademiets Arkitekt-skole 1977-79

International Ferrocement Informations Center

Asian Institute of Technology, Bangkok (har udarbejdet en næsten komplet litteraturliste over ferrocement, kan rekvireres).



ISSN-0106-0406  
ISBN-87-87823-06-3

teknisk forlag a-s . København