

AFDELINGEN FOR
BÆRENDE KONSTRUKTIONER
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE



STRUCTURAL RESEARCH LABORATORY
TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK

Mads Bryndum

LITTERATURSTUDIUM VEDRØRENDE
LET KONSTRUKTIONSBETON

RAPPORT NR. R 40 1973

Litteraturstudium vedrørende let konstruktionsbeton.

Resume:

Den hærdede letbetons egenskaber er på mange områder, på afgørende vis betinget af det lette tilslags egenskaber. Det er således ikke muligt ud fra det eksisterende udenlandske erfaringsgrundlag med andre tilslagsmaterialer præcist at forudsige, hvorledes letbeton, fremstillet af danske tilslagsmaterialer vil opføre sig.

Indledende forsøg på Betonforskningslaboratoriet, Karlstrup og ved Afdelingen for Bærende Konstruktioner, DTH har på visse områder afklaret de specielle forhold, der gælder for letbeton fremstillet af danske materialer.

På en lang række områder er der dog behov for yderligere undersøgelser. Følgende vigtige områder kan nævnes:

- 1) Betonens trykstyrke.
Betydningen af prøvemethoden, styrken ved koncentreret belastning samt styrken ved langtidspåvirkning.
- 2) Betonens trækstyrke.
Betydningen af prøvemethoden samt lagringsbetingelserne.
- 3) Armeringens forankring i beton, statisk og dynamisk.
- 4) Betonens forskydningsoptagelse.
- 5) Revnedannelsens afhængighed af armeringens forankrings-
evne og betonens trækstyrke.
- 6) Betonens svind og krybning.
- 7) Betydningen af betonens vandindhold for brandmodstan-
den.
- 8) Betonens frostbestandighed og virkningen af optønings-
kemikalier.
- 9) Korrosionsbeskyttelse af armeringen.



INDHOLDSFORTEGNELSE

Resume	
Indholdsfortegnelse	
	<u>Side</u>
1. Indledning	1
1.1 Oversigt	1
1.2 Definition	2
2. Den hærdede betons egenskaber	4
2.1 Rumvægt-trykstyrke relation	4
2.2 Trykstyrken	5
2.2.1 Prøvemethoder	5
2.2.2 Specielle styrkeegenskaber	6
2.3 Trækstyrken	8
2.4 Elasticitetsmodul	10
2.5 Poissons forhold	11
2.6 Bruddeformationer	11
2.7 Svind	12
2.8 Krybning	13
2.9 Forbindelse mellem beton og armering	13
2.10 Varmeudvidelse	15
2.11 Varmeledning	15
2.12 Brandsikkerhed	16
2.13 Holdbarhed	17
2.13.1 Frostbestandighed	17
2.13.2 Slidstyrke	17
2.14 Permeabilitet	17
2.15 Korrosionsbeskyttelse	18
3. Beregningsmetoder	19
3.1 Bøjning	19
3.2 Forskydning	20
3.3 Søjler	20
3.4 Nedbøjninger	21
3.5 Revnevidder	21
4. Vurdering af det eksisterende forskningsgrundlag	22
4.1 Trykstyrken	22
4.2 Trækstyrken	23

	<u>Side</u>
4.3 Armeringens forankring	23
4.4 Forskydning	23
4.5 Revnedannelse	23
4.6 Svind og krybning	23
4.7 Brandsikkerhed	24
4.8 Frostbestandighed	24
4.9 Korrosionsbeskyttelse af armeringen	24
5. Litteraturfortegnelse	25
5.1 Kronologisk oversigt	25
5.2 Emnefortegnelse	38

1. Indledning

1.1 Oversigt

Konstruktionsmaterialet letbeton er ikke en ny opfindelse. Det første historiske eksempel på anvendelsen af letbeton til bærende konstruktioner er kuplen over Pantheon-templet i Rom opført omkring år 120 e.Kr. Her har man bevidst mindsket betonens rumvægt mod toppen af kuplen ved at anvende knust pimpsten som tilslagsmateriale [72-7].

Den største anvendelse af letbeton i nyere tid sker indenfor blok- og elementproduktionen. Derudover anvendes letbeton i en lang række mere avancerede bærende konstruktioner. Som eksempler kan nævnes, at man ved slutningen af 1. Verdenskrig i U.S.A. anvendte letbeton som skibbygningsmateriale og, at man under 2. Verdenskrig herhjemme anvendte letbeton bl.a. i etageadskillelserne på Frederiksberg Rådhus. I begge de nævnte tilfælde var det den akutte mangel på stål, der betingede anvendelsen af letbeton.

De nævnte eksempler illustrerer det forhold, at anvendelsen af letbeton til større bærende konstruktioner ofte har været betinget af en helt speciel situation, hvilket igen har bevirket at udnyttelsen af letbeton har været meget spredt og tilfældig.

I de sidste 10-15 år er der sket en ændring af dette forhold. Letbeton har udviklet sig til et konstruktionsmateriale, der ved mange forskellige konstruktionstyper kan konkurrere med de traditionelle bygningsmaterialer, stål og normal tung beton. Denne udvikling er for en stor del betinget af fremkomsten af nye og stærkere, lette tilslagsmaterialer.

1.2 Definition

En almengyldig definition af begrebet letbeton findes ikke. Afhængig af formålet defineres letbeton med visse overenskomstmassige begrænsninger. En sådan definition kan lyde:

"Letbeton er en materialkomposition, der kan hærde til en fast masse med en rumvægt mindre end 2000 kg/m^3 .

Blandingen er baseret på et bindemiddel og indeholder sædvanligvis et inaktivt tilslag".

Af hensyn til overskueligheden har det her været nødvendigt at foretage yderligere begrænsninger af emnet. I det følgende betragtes kun letbeton, hvor bindemidlet er Portland cement, og hvor det anvendte tilslag består af uorganisk materiale. Hermed er emnet indskrænket til at omfatte

- 1) Tæt konstruktionsbeton, med let tilslag.
- 2) Beton med ikke mørtelfyldte hulrum ("no-fines beton").
- 3) Gas- og cellebeton.

1) Tæt konstruktionsbeton fremstilles ved helt eller delvis at erstatte stenmaterialet i en normalbeton med lette klinker. Udgangsstofferne til fremstillingen af lette klinker, fremstillingsproceduren, samt det færdige materiales egenskaber varierer indenfor vide grænser. Generelt kan klinkerne dog karakteriseres som et porøst keramisk materiale.

I Danmark fremstilles 2 typer lette klinker, en let type der hovedsagelig anvendes til rene isoleringsformål og en tung type, der kan anvendes til fremstilling af konstruktionsbeton. Begge typer fremstilles ved opbløring af ler i roterovn og betegnes ofte med fællesnavnet exler [72-3].

2) "No fines" beton fremstilles ved udelukkelse af visse stenfraktioner i betonblandingen, således at mørtelen ikke kan fylde alle hulrum ud. Tilslaget i betonen kan bestå både af lette klinker og af normalt stenmateriale.

3) Gas- og cellebeton fremstilles ved på forskellig vis at bibringe en grundmasse af cementmørtel et passende luftporeindhold.

Den tatte konstruktionsbeton er den af de nævnte betontyper, der er mest anvendelig til mere avancerede betonkonstruktioner. Dels er proportionerings- samt udstøbningssteknikken den simpleste, dels kan der opnås de højeste betonstyrker og endelig kan den tatte beton effektivt beskytte armeringen mod korrosion.

Opmærksomheden henledes dog på, at både "no-fines" beton samt gas- og cellebeton anvendes til bærende konstruktioner især indenfor husbygning. Anvendelsen er dog her betinget af at korrosion af armeringen forhindres ved hjælp af passende forholdsregler.

Litteraturstudiet koncentrerer sig i det følgende om den tatte konstruktionsbeton med let tilslag (i det følgende kaldet letbeton). Undersøgelsen indskrænkes til at omfatte den hærdede betons egenskaber, samt de særlige beregnings- og dimensioneringshensyn, som må tages i forbindelse med anvendelsen af denne beton. De materialteknologiske samt proportionerings- og udstøbnings tekniske problemer, som også er af stor betydning, behandles ikke i nærværende redegørelse.

2. Den hærdede betons egenskaber.

En gennemgang af den allerede udførte forskning vedr. letbetons grundlæggende egenskaber vil kunne give indtryk af i hvilket omfang en sådan forskning er nødvendig herhjemme, før letbeton med danske tilslagsmaterialer kan anvendes på lige så sikkert et grundlag som normalbeton.

2.1 Rumvægt- trykstyrke relation.

Når anvendelsen af letbeton kommer på tale, er det primært rumvægt- styrkesammenhængen, der har interesse.

På fig. 1 er sammenhængen mellem betonstyrken og den tilsvarende opnåelige rumvægt afbildet for beton fremstillet af et bredt udvalg af de i dag kendte, lette tilslagsmaterialer [61-2] [67-3] [68-5] [68-6] [72-2].

På grundlag af forsøg udført på Betonforskningslaboratoriet [64-1] [64-2] [67-1] [68-3] [72-4] samt prøveresultaterne fra 2 betonkonstruktioner [72-1] [73-1] [73-2] er de styrke- rumvægtsområder, der dækkes af letbeton fremstillet af markedsførte, danske tilslagsmaterialer (lette og tunge exler klinker) indtegnet på fig. 1.

Da muligheden for import af tilslagsmaterialer fra vore nabolande foreligger, er de områder, der dækkes af:

- a) Berwilit fra Tyskland
- b) Korlin fra Holland
- c) Pimpsten fra Island

også indtegnet på fig. 1.

Berwilit og Korlin er kvalitetsprodukter fremstillet ved opblæring af henholdsvis lerskiffer og ler i roterovn. Pimpsten er et luftporefyldt, naturligt mineral af vulkanisk oprindelse med mindre gode egenskaber i styrkemæssig henseende. [70-2] [71-7] [72-2] [72-5] [72-6].

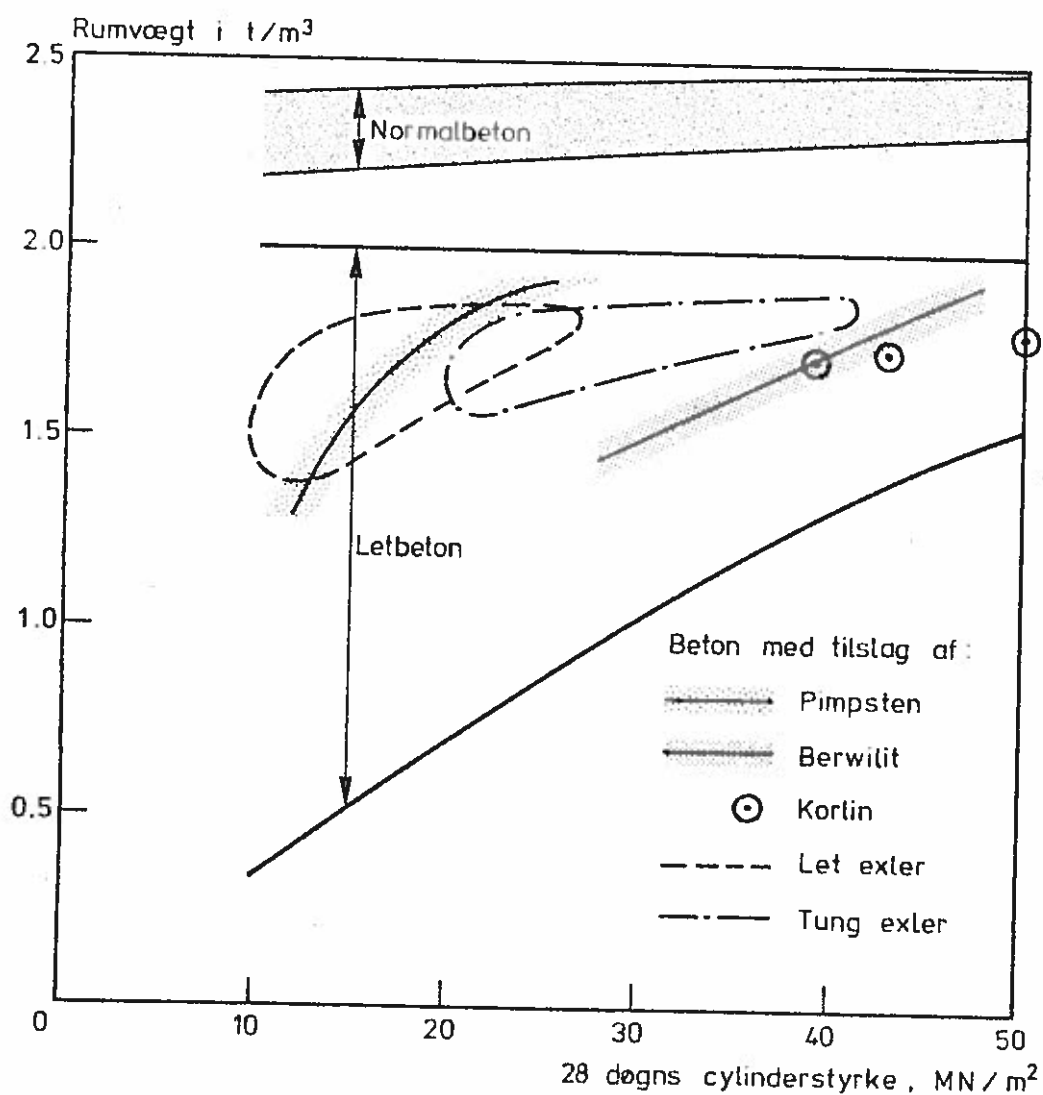


Fig. 1. Sammenhæng mellem rumvægt og trykstyrke for normal- og letbeton.

2.2 Trykstyrken

2.2.1 Prøvemethoder

Da betonstyrken i høj grad afhænger af prøvemethoden, prøvelegemet, belastningspåførslen, lagringsbetingelserne m.m. er en direkte sammenligning mellem forskellige prøveresultater sjældent mulig. På fig. 1 er som styrkeangivelse anvendt cylinderstyrken (\emptyset 15 x 30 cm). I de tilfælde en anden styr-

keangivelse har været anvendt er cylinderstyrken fundet ved multiplikation med de korrektionsfaktorer, der sædvanligvis anvendes ved normalbeton [69-2].

Sammenligning mellem de forskellige prøvemethoder er for letbeton kun udført i begrænset omfang [61-2] [68-6]. Forsøgene viser, at omsætningsfaktorerne f.eks. mellem prisme-, terning- og cylinderstyrker i gennemsnit er af samme størrelse som dem, der gælder for normalbeton. Spredningen på forsøgene er dog så stor, at en nøjagtigere bestemmelse af disse omsætningsfaktorer må ske ved forsøg med den pågældende letbetontype.

Ikke destruktive prøvemethoder til fastlæggelse af trykstyrken som f.eks. lokstyrkeprøvning og prøvning med betonhammer er kun anvendt i få tilfælde ved letbetonkonstruktioner [71-1] [73-3].

Forsøgene viser, at tilslagsmaterialet har afgørende indflydelse på prøveresultaterne, således at prøvemethoderne må kalibreres for hver betontype.

2.2.2 Specielle styrkeegenskaber.

Udmattelsesstyrken.

Styrken ved langtidslast.

Styrken ved koncentreret belastning.

Disse særlige styrkeegenskaber har fortrinsvis interesse ved mere specielle konstruktioner. Fælles for dem er da også, at der kun eksisterer et mindre forskningsmateriale og, at dette kun omfatter letbeton fremstillet af få forskellige tilslagstyper.

Muligheden for at uddrage generelle konklusioner, samt at overføre forsøgsresultaterne fra udenlandske forsøg til letbeton fremstillet af danske tilslagsmaterialer er derfor ikke tilstede.

De udførte udmattelsesforsøg med letbeton har vist følgende:

- a) Udmattelsesegenskaberne synes at være uafhængige af betonstyrken over et stort styrkeinterval.
- b) Udmattelsesegenskaberne for letbeton er ikke væsentlig ringere end for normalbeton. [61-3] [72-2].

Styrken ved langtidspåvirkning er som ved normalbeton mindre end korttidsstyrken.

Hvor normalbeton ved langtidsforsøg har en trykstyrke der normalt regnes til ca. 80% af korttidsstyrken synes letbetons langtidsstyrke at ligge forholdsmæssigt meget lavere, ca. 70-75% af korttidsstyrken [65-1] [72-2].

Ved belastning af en begrænset del af et betontværsnit er de lokale trykspændinger ved brud større end de brudspændinger, der optræder ved fuld belastning af tværsnittet.

Som det fremgår af fig. 2 er denne styrkes forøgelse mindre ved letbeton end ved normalbeton [72-2].

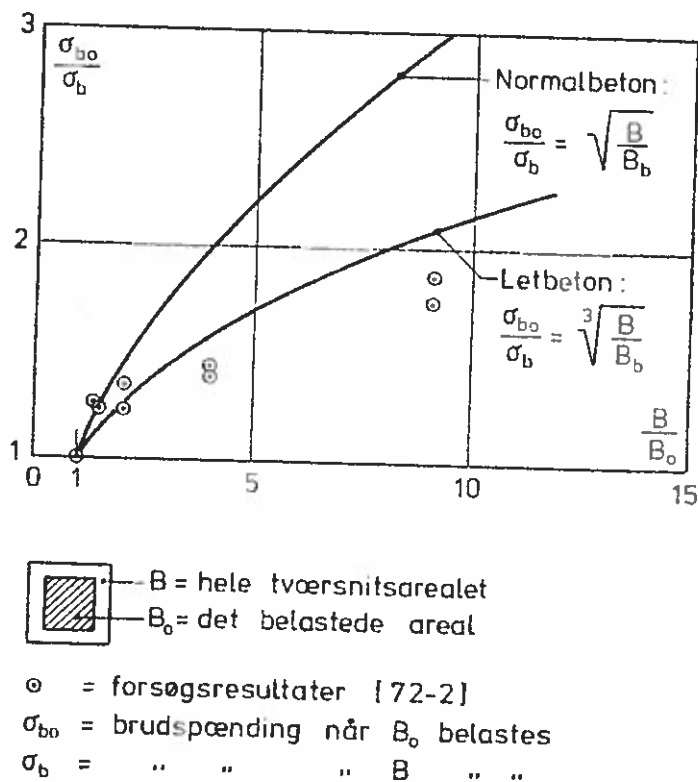


Fig. 2. Styrkeforøgelsen ved koncentreret tryk

Japanske forsøg med cirkulære prøvelegemer [68-1] antyder, at forøgelsen af brudstyrken ved letbeton ikke, som vist på fig. 2, alene er en funktion af forholdet mellem det fulde areal og de belastede areal, men tillige er afhængig af tryk-

styrken. Forsøgene viser således, at letbeton med cylinderstyrker omkring 20 MN/m^2 har omtrent samme forøgelse af styrken som normalbeton, hvorimod letbeton med cylinderstyrker omkring 40 MN/m^2 følger kurven vist på fig. 2.

2.3 Trækstyrken.

Trækstyrken er af afgørende betydning for forskydningsoptagelsen af betontværsnittet. Dertil kommer, at trækstyrken fastlægger overgangen fra urevnet til revnet tværsnit samt muligvis har en vis indflydelse på revnevidderne. Et nøjagtigt kendskab til trækstyrken er derfor nødvendigt for at kunne gennemføre en korrekt dimensionering.

Til fastlæggelse af trækstyrken anvendes almindeligvis enten spaltestyrken, bøjningstrækstyrken eller den enaksede trækstyrke. I den færdige konstruktion er det som regel den enaksede trækstyrke, man har brug for at kende, men på grund af vanskelig forsøgsteknik baserer man sig om regel på spaltestyrken eller bøjningstrækstyrken.

Trækstyrken viser ligesom trykstyrken stor afhængighed af prøvemethoden, lagringsbetingelserne m.m.

Ved bestemmelse af trækstyrken efter uafbrudt lagring ved 100% relativ fugtighed indtil prøvningstidspunktet afviger denne kun lidt fra trækstyrken af normalbeton med samme trykstyrke [66-1] [67-3] [67-4] [68-1] [61-1].

Ved bestemmelse af trækstyrken efter en vis udtørring af betonen vil der ske en ændring af billedet. Letbetons spaltestyrke vil falde 10-40% afhængig af det anvendte tilslagsmateriale. Normalbetons spaltestyrke viser modsat en svag stigning. Ændringen af spaltestyrken har både for let- og normalbeton vist sig at være ret uafhængig af omgivelsernes fugtighedsgrad under udtørringen. Lagring ved en relativ fugtighed fra 20% til 80% har vist sig ikke at have nogen væsentlig indflydelse på trækstyrkeændringen. [66-1] [68-1]. På fig. 3 ses et generelt billede af spaltestyrkens udvikling afhængig af lagringsforholdene.

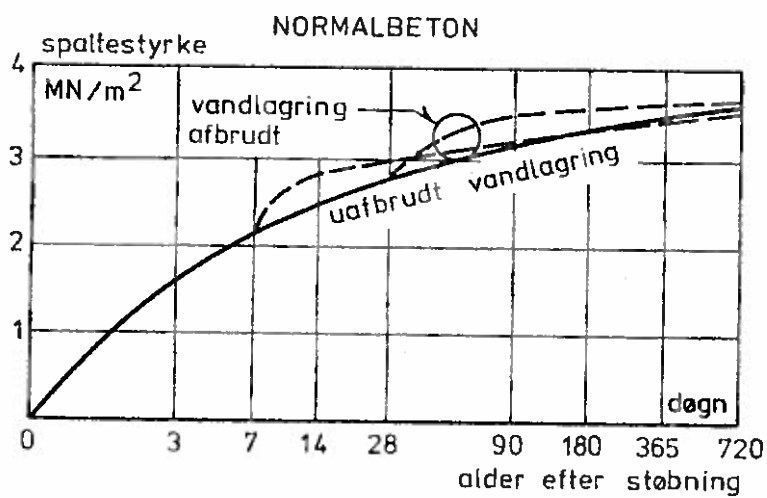
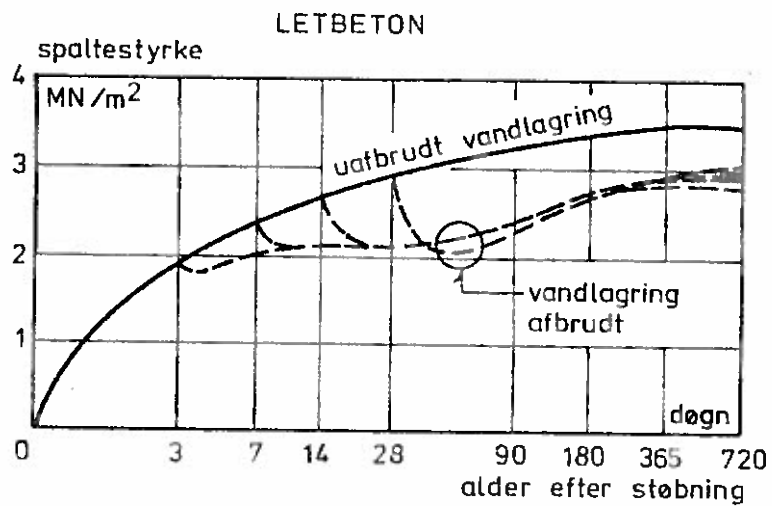


Fig. 3. Spaltestyrkens afhængighed af lagringsbetingelserne [68-1]

Bøjningstrækstyrken er mere følsom overfor udtørring end spaltestyrken. En begyndende udtørring efter lagring ved 100% relativ fugtighed bevirker, at letbetons bøjningstrækstyrke falder 30 - 60%, hvor spaltestyrken under samme betingelser kun falder 10 - 40% [61-1].

Forsøgene indicerer, at tabet i trækstyrke er knyttet til egenspændinger forårsaget af udtørringen, idet bruddet ved bestemmelse af bøjningstrækstyrken indledes ved kanten af prøvelegemet, hvor netop de største udtørringsgradienter optræder. Forsøg på at korrellere trækstyrketabet med størrelsen af betonens svind er ikke lykkedes [68-1].

En bestemmelse af betonens trækstyrke som funktion af trykstyrken og lagringsbetingelserne må derfor ske med forsøg med den pågældende letbetontype.

Herhjemme er spaltestyrken af letbeton med let exler som tilslag undersøgt på Betonforskningslaboratoriet, Karlstrup [64-1], [64-2]. De fundne spaltestyrker, der er bestemt efter lagring ved 100% relativ fugtighed, er af samme størrelse som for en normalbeton af samme styrke, ca. 1/10 af trykstyrken.

Forsøg med tung exler er ikke gennemført i større målestok. I forbindelse med opførelsen af 2 broer i letbeton med tung exler som tilslag er der fundet spaltestyrker, der er ca. 25-30% lavere end dem man kunne forvente at få med en normalbeton af samme styrke. I disse tilfælde var betonen lagret ved alm. luftfugtighed forud for prøvningen [72-1], [73-1] [73-2] [73-3].

2.4 Elasticitetsmodul

E-modulet er en funktion af såvel tilslaget som den hærdede cementpastas E-modul. På grund af den store variation af tilslagsmaterialerne er det umuligt generelt at fastlægge letbetons E-modul. Almindeligvis ligger det mellem 1/3 og 2/3 af E-modulet for en normalbeton af samme trykstyrke.

Pauws formel [60-1]:

$$E = K \sqrt{\gamma^3 \sigma_c} \text{ hvor}$$

σ_c er cylinderstyrken i MN/m^2

γ er rumvægten i kg/m^3 og

K er en konstant, her = 0,043

giver en gennemsnitsværdi for letbetons E-modul (i MN/m^2), men med stor spredning. Ved ændring af konstanten K , kan formelen tilpasses et bestemt tilslag og giver i så tilfælde bedre overensstemmelse med forsøgsresultaterne.

Konstanten er for beton med danske exler som tilslag ca. 0,040. [67-1] [71-2] [72-1] [72-4] [73-3].

2.5 Poissons forhold

Poissons forhold, ν , er kun sjældent af betydning for dimensioneringen af betonkonstruktioner. Forsøg viser, at ν for letbeton er ca. 10-30% større end ν for en normalbeton med samme styrke, d.v.s. ν ligger i intervallet 0,20-0,25.

2.6 Bruddeformationer.

Brudforkortelsen ved trykforsøg er beliggende mellem 1,5 og 3,5 o/oo, hvilket stort set svarer til normalbetonens [67-1] [71-2] [72-1] [72-4] [73-3].

Forløbet af letbetons arbejdskurve er dog væsentlig anderledes end normalbetons, idet kurven fortsætter næsten retlinet helt til brud. Det giver sig udtryk i en væsentlig mindre bruddeviation. For normalbeton ligger bruddeviationen i intervallet 1,5 - 2,3 medens letbeton med samme trykstyrke har en bruddeviation på 1,0 til 1,5. Se fig. 4.

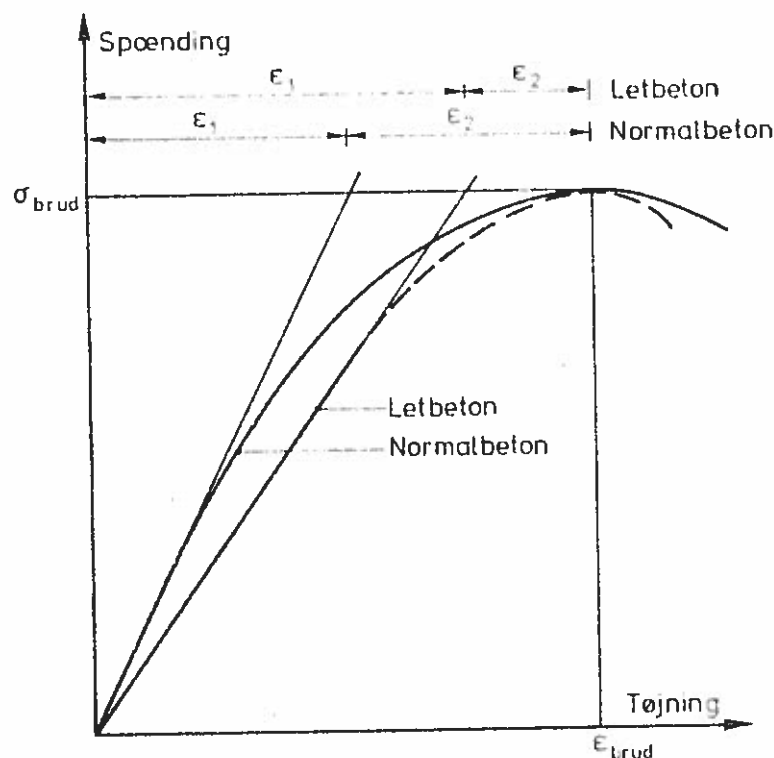


Fig. 4. Arbejdslinier for let- og normalbeton.
 Bruddeviation: $d = (\epsilon_1 + \epsilon_2) \epsilon_1$

2.7 Svind

Svind er den volumenændring af beton, der sker ved udtørring af denne. Svindet er primært knyttet til volumenændring af cementgelen ved vandafgivelse. Svindet er som sådan påvirket af følgende hovedfaktorer [72-2]:

- Mængden af cementpasta
- Kvaliteten af cementpastaen
- Tilslagets egenskaber

Tilslagsmaterialet påvirker direkte svindets størrelse ved at hindre den frie bevægelse af cementpastaen. Indirekte påvirker tilslagsmaterialerne svindet ved de forskellige krav de stiller til mængden og kvaliteten af cementpastaen. Da det således ikke er muligt at adskille de enkelte betydende faktorer, kan man næppe bestemme svindet for letbeton ad teoretisk vej, men man må fastlægge dets størrelse ved forsøg med hvert enkelt tilslagsmateriale og proportionering [72-2]. Forsøg med et stort antal lette tilslagsmaterialer

har givet svind af størrelsen 0,5 o/oo til 1,5 o/oo, hvor der ved parallelforsøg med normalbeton er målt svind fra 0,3 o/oo til 0,8 o/oo [64-3] [67-5] [68-2].

Svindforsøg udført på Betonforskningslaboratoriet, Karlstrup med letbeton fremstillet af let exler har vist følgende:

Et lineært svind af størrelsen 0,5 til 0,7 o/oo. Svindet var stort set uafhængigt af cementtype, cementindhold og tilslagsmængden [70-1].

2.8 Krybning

Krybningen er den tidsafhængige deformation, der fremkaldes af en konstant belastning. Som tilfældet er med svindet, er det heller ikke her muligt at adskille de betydende faktorer. Dertil kommer, at der hersker et vist ukendskab til de grundlæggende krybningsmekanismer. Det betyder, at man også her må bestemme krybningen ved forsøg med den pågældende betontype [72-2].

Ved forsøg med et stort antal forskellige tilslagsmaterialer har man fundet værdier for letbetons krybning, der varierede fra 0,8 til 2,3 gange krybningen af normalbeton med samme styrke [64-3] [67-5] [68-2] [71-2].

Krybningsforsøg med letbeton er herhjemme iværksat i forbindelse med opførelsen af 2 gangbroer i letbeton. Forsøgene foretages kun med de specielle betonblandinger, der er anvendt ved brostøbningerne [72-5] [73-2]. Nogen endelig konklusion vedr. forsøgene foreligger endnu ikke. De foreløbige resultater antyder dog, at krybningen er af samme størrelsesorden som for normalbeton med samme trykstyrke.

2.9 Forbindelsen mellem beton og armering

Betonens vedhæftning til armeringen har især betydning for forankringslængden af armeringsstængerne. Yderligere har den muligvis en vis indflydelse på revnedannelsen.

Mange af de grundlæggende problemer vedr. betonens vedhæftning til armeringen er i dag uløste, hvilket gør det vanskeligt at sammenligne den udførte forskning, samt at

overføre de fundne resultater til anvendelse i praksis [69-2] [68-5].

Udtrækningsforsøg med glatte armeringsstænger viser, at forbindelsen mellem beton og armering generelt har lavere styrke ved letbeton end ved normalbeton med samme trykstyrke. Se fig. 5, der viser resultaterne af sådanne forsøg udført på Building Research Station i England. [68-5] [71-3] [72-2].

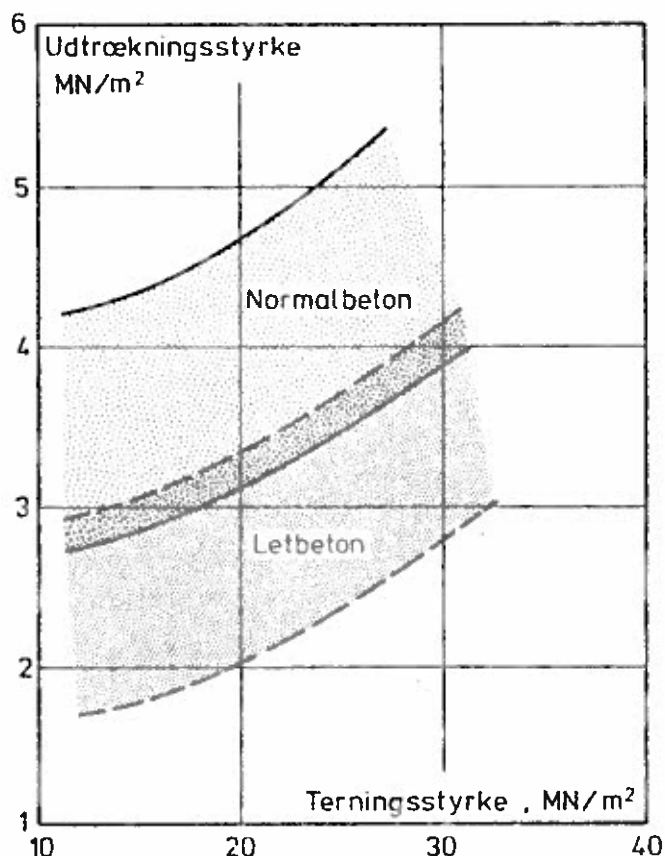


Fig. 5. Udtrækningsstyrken af glatte armeringsstænger [68-5]

Ved ribbede armeringsstænger tilsløres forholdene af de mere komplicerede forankringsmekanismer. Hvor forankringsstyrken ved glatte stænger hovedsagelig er betinget af friktionskræfter mellem beton og jern, er den ved ribbede armeringsstænger hovedsagelig betinget af betonens evne til at modstå det koncentrerede tryk fra ribberne. For at ribberne kan træde i funktion i forankringsmæssig henseende er det nødvendigt, at der sker en vis glidning af armeringen i forhold til betonen.

Sammenlignende forankringsforsøg mellem normal- og letbeton af samme styrke viser, at denne initiale glidning generelt er større og sker ved en lavere forankringsspænding i letbeton, hvilket til dels kan forklares ved den tilsvarende mindre trækstyrke.

Den endelige forankringsstyrke viser derimod ikke nogen klar forskel mellem letbeton og normalbeton. Afhængig af tilslagsstypen, forsøgsmetoden m.m. har ribbede armeringsstænger en forankringsevne i letbeton, der i størrelse varierer fra 0,8 til 1,5 gange forankringsevnen i normalbeton af samme styrke [68-6] [71-3] [72-2].

Ved dynamiske forsøg viser armeringsstænger generelt en lavere forankringsevne i letbeton end i normalbeton, hvilket hænger sammen med, at forbindelsens styrke til dels er betinget af størrelsen af ovennævnte initiale glidning af armeringsstængen i forhold til betonen [68-6] [71-3].

Der er ikke foretaget forsøg herhjemme med det formål at bestemme styrken af forbindelsen mellem letbeton og armering.

2.10 Varmeudvidelse

Varmeudvidelsen for letbeton ligger i intervallet $7-11 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, hvor den for normalbeton ligger i intervallet $9-13 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Den nøjagtige værdi afhænger af det anvendte tilslags mineralogiske egenskaber [67-3].

2.11 Varmeledning

Varmeledningstallet λ er en næsten entydig funktion af rumvægten. Som det fremgår af fig. 6 spiller vandindholdet dog en vis rolle.

Normalt udtørret beton refererer til beton, der har nået fugtbalance med omgivelserne under normale udendørs klimabetingelser [67-3] [72-4].

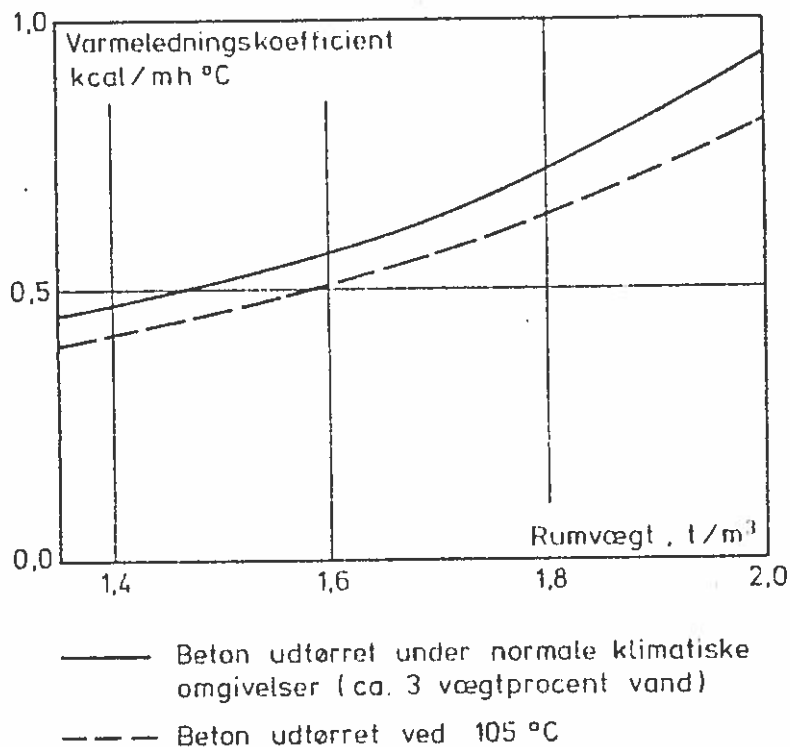


Fig. 6. Varmeledningskoefficient for letbeton

2.12 Brandsikkerhed

Betonkonstruktionens brandsikkerhed er dels betinget af betonens evne til at varmeisolere armeringen, dels af betonens evne til at bevare sin styrke under varmpåvirkning.

I kraft af den lavere varmeledningskoefficient yder et intakt letbetondæklag, bedre beskyttelse af armeringen mod brandpåvirkning end et tilsvarende normalbetondæklag. Den langsomme opvarmning vil yderligere betyde, at det vil vare længere, før den for betonen kritiske temperatur nås.

Forsøg har imidlertid vist, at det relativt store vandindhold i letbeton kan give anledning til så store indre damptryk, at materialet sprænges ved opvarmning [67-3] [71-2].

2.13 Holdbarhed

2.13.1 Frostbestandighed

Letbetons modstandsdygtighed overfor ødelæggelse ved gentagen frysning og optøning er som normalbetons afhængig af mørtelens modstandsdygtighed. I almindelighed er letbetons frostbestandighed ikke ringere end normalbetons, og de samme midler, luftindblanding, der øger normalbetons frostbestandighed øger også letbetons. [67-3] [71-2] [72-2].

Enkelte tilslagsmaterialer er i sig selv ikke frostbestandige, og letbeton fremstillet af disse kan ikke frostsikres ved luftindblanding [72-2].

Forsøg med frostbestandigheden af letbeton med tungt exler udføres i begrænset omfang i forbindelse med udførelsen af de første letbetonbroer herhjemme [72-5].

2.13.2 Slidstyrke

Slidstyrken af beton afhænger primært af betonmørtelens styrke og i mindre grad af tilslagets. Kun ved meget tunge belastninger vil det øverste mørtellag kunne slides af og i så tilfælde vil letbeton på grund af de svage korn vise ringere modstandsevne end normalbeton [72-2].

2.14 Permeabilitet

Betonens permeabilitet overfor vand er hovedsagelig afhængig af mørtelfraktionens egenskaber og i mindre grad betinget af det grove tilslags porøsitet. Som følge heraf er der kun ringe forskel på permeabiliteten af letbeton og normalbeton [71-4] [72-2].

Letbetons permeabilitet overfor luftarter er derimod generelt større end normalbetons. Hollandske forsøg har vist at diffusionskoefficient for vanddamp i letbeton er 3 til 4 gange større end i normalbeton [71-4].

Letbetons permeabilitet er et område, hvor der kun i mindre udstrækning er sket en forskning. Der er kun undersøgt et lille antal letbetontyper, og forsøgsresultaterne kan derfor ikke ukritisk overføres til at gælde for danske materialer.

Permeabiliteten har primært betydning for korrosionsbeskyttelsen af armeringen og kun sjældent direkte indflydelse på konstruktionens virkemåde.

2.15 Korrosionsbeskyttelse

Korrosionsbeskyttelsen af armeringen er knyttet til det basiske miljø i cementpastaen. Det lette tilslag nedsætter derfor ikke direkte korrosionsbeskyttelsen. Letbetons større permeabilitet giver øget mulighed for indtrængning af vanddamp og CO_2 med en carbonatisering og dermed en nedbrydning af det basiske miljø tilfølgende. Forsøg har da også vist at carbonatiseringsdybden er større i letbeton end i normalbeton. Efter 3 år er carbonatiseringsdybden i en velkomprimeret normalbeton ca. 2 mm og i en letbeton af tilsvarende kvalitet og styrke ca. 3 mm. Carbonatiseringen ophører ved dette niveau og faren for korrosion af armeringen forsvinder hermed.

Kun såfremt de store korn i tilslaget kan danne direkte forbindelse fra overfladen af betonen til armeringen vil der optræde en målelig øgning af korrosionsrisikoen af armering i letbeton i forhold til armering i normalbeton [68-5] [72-2].

3. Beregningsmetoder

I det omfang en tilfredstillende teoretisk beregningsmodel foreligger, kan dimensioneringen af bærende konstruktioner i letbeton i princippet foretages på samme måde som dimensioneringen af normalbetonkonstruktioner, når det nødvendige hensyn tages til letbetonens specielle egenskaber.

Nu sker dimensioneringen af betonkonstruktioner i et vist omfang på et empirisk og erfaringsmæssigt grundlag opbygget gennem lang tids anvendelse af normalbeton. En ukritisk overførsel af dette dimensioneringsgrundlag til letbeton vil kunne give anledning til alvorlige fejlvurderinger.

3.1 Bøjning

Dimensioneringen af et betontværsnit kan foretages enten på grundlag af elasticitetsteorien eller ved en brudstadieregning.

Letbetons ændrede deformationsforhold betyder at en beregning efter elasticitetsteorien skal gennemføres med en anden værdi af forholdet $n = \frac{E_a}{E_b}$ end den, der sædvanligvis anvendes ved normalbeton. Fejlen, der begås ved at anvende samme n -værdi for letbeton som for normalbeton kan dog ofte negligeres, da dimensioneringen som regel kun i ringe grad er følsom overfor variationer af n [71-2] [71-3].

Beregningsprincipperne ved en brudstadieregning kan tilsvarende overføres fra normalbeton til letbeton. De ændrede deformationsegenskaber betyder her en ændring af spændingsfordelingen i trykzonen. Forsøg har vist, at denne ændring er af mindre betydning, idet det teoretiske brudmoment, beregnet efter de formler, der er opstillet for normalbeton, viser god overensstemmelse med forsøgsresultaterne også for letbeton [66-3] [67-6] [71-3] [71-4] [71-6].

3.2 Forskydning

Problematikken omkring optagelsen af forskydningskræfter i et betontværsnit er ikke fuldt afklarede i dag. Forskning vedr. letbetons forskydningsoptagelse bør derfor knyttes tæt til tilsvarende undersøgelser vedr. normalbeton.

Et stort antal forskydningsforsøg med let- og normalbetonbjælker har klarlagt forholdene omkring diagonalrevnedannelsen. Denne skyldes primært, at største hovedtrækspænding overskrider betonens trækstyrke [61-1] [71-5].

Forholdene i det forskydningspåvirkede tværsnit efter diagonalrevnedannelsen er til dels uafklarede. Bl.a. savnes afklaring af sammenhængen mellem forskydningsarmeringens og betontrykzonens bidrag til forskydningsoptagelsen samt indflydelsen af letbetons specielle elasticitets- og trækstyrkeegenskaber på dette forhold.

Letbetonpladers forskydningsstyrke er kun undersøgt i få tilfælde. De udførte forsøg viser, at letbetonpladers gennemlokningsstyrke er 20-30% mindre end styrken af plader udført af normalbeton med samme trykstyrke. Den mindre gennemlokningsstyrke kan i alle tilfælde føres tilbage til letbetonens lavere trækstyrke [64-5] [69-8].

3.3 Søjler

På grund af vanskelighederne med at fastlægge størrelsen af en række faktorer som f.eks. svind, krybning, revner og forhåndskrumning sker dimensioneringen af betonsøjler på et stærkt forenklet grundlag, der i det omfang hensyn ikke tages til ovennævnte forhold, er passende på den sikre side. Tilsvarende princip kan anvendes ved dimensioneringen af letbetonsøjler.

Anvendelsen af nøjagtigere beregningsmetoder kræver i stort omfang yderlig forskning. En sådan forskning bør i første række koncentreres om forholdene ved normalbeton.

I et vist omfang sker dimensioneringen af betonsøjler og -vægge på et empirisk grundlag. I disse tilfælde kan principperne ikke umiddelbart overføres fra normalbeton til letbeton. [69-2] [72-3].

3.4 Nedbøjninger

Nedbøjninger af letbetonkonstruktioner kan bestemmes efter samme principper som ved normalbetonkonstruktioner. Letbetonens lavere E-modul og lavere trækstyrke bevirker, at letbetonkonstruktioner generelt får større nedbøjninger både i det urevnede og det revnede stadium end konstruktioner af samme udformning og under samme momentpåvirkning, men udført i normalbeton. [71-10] [72-2] [72-3].

3.5 Revnevidder

Betydningen af letbetons særlige elasticitets og forankringsegenskaber for revnevidderne er ikke afklaret i dag. De sparsomme forsøgsresultater, der foreligger, antyder, at revnevidderne i letbeton er 10-20% større end i normalbeton. [68-5].

4. Vurdering af det eksisterende forskningsgrundlag

Som det fremgår af det foranstående, har det anvendte tilslagsmateriale afgørende indflydelse på den afbundne betons egenskaber.

Letbeton fremstillet af danske tilslagsmaterialer er undersøgt i begrænset udstrækning, dels ved Betonforskningslaboratoriet, Karlstrup, dels ved Afdelingen for Bærende Konstruktioner, DTH. Undersøgelserne er ikke på alle punkter tilstrækkelige til, at man kan få et fuldstændigt billede af letbetonens opførsel. En række punkter må belyses med yderligere forsøg.

Letbeton er ved mange bærende konstruktioner et alternativt konstruktionsmateriale, der ofte kan byde på økonomisk fordelagtige løsninger. Dette kræver, at de projekterende er i stand til at gennemføre en korrekt dimensionering og ikke på grund af usikkerhed overfor materialet opnår den fornødne sikkerhed ved overdimensionering.

Udover kravet om at en sikker og økonomisk dimensionering kan gennemføres, er det en helt nødvendig betingelse for udførelsen af projekter i letbeton, at der kan opnås garanti for tilstrækkelig holdbarhed overfor nedbrydende påvirkninger af mere klimatisk karakter.

Kendskabet til følgende af betonens egenskaber må derfor uddybes:

4.1 Trykstyrken

Herhjemme anvendes næsten udelukkende cylinderstyrken som styrkeangivelse for beton. Undersøgelser af trykstyrkens afhængighed af prøvemethoden har derfor primært interesse i det omfang, de gør det muligt af sammenligne udenlandske forsøg med danske.

Af hensyn til fastlæggelsen af belastningsniveauet i letbetonkonstruktioner bør problemerne vedr. betonens styrke under langtidspåvirkning løses. Letbetonens udmattelsesstyrke samt styrken ved koncentreret belastning er i nogen udstrækning belyst ved udenlandske forsøg. Dertil kommer, at disse egenskaber sjældent er dimensionsbestemmende. Eventuelle undersøgelser af problemerne kan derfor indskrænkes til enkelte sammenlignende forsøg mellem let- og normalbeton.

4.2 Trækstyrken

En undersøgelse af trækstyrkens afhængighed af trykstyrken, prøvemethoden, lagringsbetingelserne m.m. bør gennemføres.

4.3 Armeringens forankring

På grund af den manglende teoretiske baggrund må undersøgelserne indskrænke sig til at give et relativt billede af armeringens forankringsevne i letbeton.

4.4 Forskydning

Forskydningsforsøg med letbeton vil kunne yde et værdifuldt bidrag til den forskning, der i øjeblikket foregår ved Afdelingen vedr. betonbjælkens forskydningsoptagelse. Især vil det kunne uddybe problemerne med hensyn til betontrykzonens forskydningsoptagelse.

4.5 Revnedannelse

Det bør undersøges, om de særlige forhold, der gælder for letbetons trækstyrke og forankringsevne har nogen indflydelse på revnedannelsen.

4.6 Svind og krybning

For tiden foregår der intens forskning vedr. normalbetons svind og krybning. For at undgå dobbeltforskning bør undersøgelser vedr. letbeton indskrænkes til at omfatte forsøg med det formål at fastlægge størrelsen af svindet og krybningen til brug i praksis.

4.7 Brandsikkerhed

Da anvendelsen af letbeton hidtil hovedsagelig har været knyttet til husbygningsskonstruktioner, er et nøjere kendskab til brandmodstandens afhængighed af betonens vandindhold, tilslag, alder m.m. af stor betydning.

4.8 Frostbestandighed

Et nøjere kendskab til betonens holdbarhed under frost-optøningsvekslen samt virkningen af optøningskemikalier er af stor betydning for anvendelsen af letbeton f.eks. i brokonstruktioner.

4.9 Korrosionsbeskyttelse af armeringen

Korrosionsbeskyttelsens afhængighed af permeabiliteten, revner, virkningen af optøningskemikalier m.m. er områder, hvor der i dag er behov for yderlig forskning, ikke alene vedr. letbeton, men også vedr. normalbeton.

De hermed skitserede forskningsopgaver er nødvendige for at opnå det erfaringsgrundlag, der er betingelsen for en sikker og økonomisk anvendelse af letbeton fremstillet med danske tilslagsmaterialer. Desuden vil gennemførelsen af en sådan forskning på en lang række områder kunne bidrage til løsningen af tilsvarende problemer vedr. normalbeton.

5. Litteraturfortegnelse

5.1 Kronologisk oversigt

1960

[60-1], Pauw, A.

Static Modulus of Elasticity of concrete as affected by density.

ACI-Journal. Proceedings V. 57, No. 6, 1960, pp. 679-687.

1961

[61-1], Hanson, J.A.

Tensile strength of Lighthweight Concrete*

ACI-Journal. Proceedings V. 58, No. 1, 1961, pp. 1.

[61-2], Reinsdorf, S.

Leichtbeton, Bd. 1

VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1961.

[61-3], Warren, H.G., McLaughlin, J.F., Antrim, J.D.

Fatigue Properties of Lightweight Aggregate Concrete.

ACI-Journal Proceedings V. 58, No. 2, 1961, pp. 149.

[61-4], Klieger, P., Hanson, J.A.

Freezing and Thawing Tests of Lightweight Aggregate Concrete.

ACI-Journal, Proceedings V. 57, No. 7, 1961, pp. 779.

[61-5], Shirayama, K.

The estimation of strength of concrete made with lightweight aggregate

Magazine of Concrete Research V. 13, No. 38, 1961, pp. 61.

1962

[62-1], Grieb, E.W., Werner, G.

Comparison of the Splitting Tensile Strength
of Concrete with Flexural and Compressive
Strengths.

Public Roads V. 32, No. 5, 1962, pp. 97.

[62-2], Hirsch, J.J.

Modulus of Elasticity of Concrete Affected by
Elastic Moduli of Cement paste and Moduli of
Aggregate

ACI-Journal Proceedings V. 59, No. 3, 1962,
pp. 427.

1963

[63-1], Bache, H.H.

Exlers vandabsorption og tilsyneladende vægt-
fylde.

Betonforskningslaboratoriet, intern rapport
nr. 56.

1964

[64-1], Bache, H.H.

Exlerbeton til bærende konstruktioner:
Trykstyrke, spaltestyrke, arbejdslinie og lyd-
hastighed.

Betonforskningslaboratoriet, intern rapport
nr. 88.

[64-2], Bache, H.H.

Exlerbeton til bærende konstruktioner: Tryk-
styrke og spaltestyrke.

Betonforskningslaboratoriet, intern rapport
nr. 70.

[64-3], Reichard, T.W.

Creep and Drying Shrinkage of Lightweight and
Normalweight Concretes.

National Bureau of Standards Monograph 74.
March 4. 1964.

- [64-4], Hanson, J.A.
Replacement of Lightweight Aggregate Fines
with Natural Sand in Structural Concrete.
ACI-Journal. Proceedings V. 61, No. 7, 1964
pp. 779.
- [64-5], Hognestad, E., Elstner, R.C. and Hanson, J.A.
Shear Strength of Reinforced Structural Light-
weight Aggregate Concrete Slabs.
ACI-Journal. Proceedings V. 61, No. 6, 1964,
pp. 643.
- [64-6], Landgren, R.
Water-Vapor Absorption-Desorption Characteristics
of Selected Lightweight Concrete Aggregates
ASTM. Proceedings V. 64, 1964, pp. 830.
- [64-7], Sørli, I.
Armerte betongkonstruksjoner med leca som
lett tilslag.
Nordisk Betong, V. 8, No. 1, 1964, pp. 55.
- [64-8], Walz, K. und Wischers, G.
Konstruktionsleichtbeton hoher Festigkeit
Stand der Entwicklung in dem USA am Beispiele
von Blähtonzuschlag aus dem Drehofen.
Beton V. 14, No. 7+8+9, 1964, pp. 293+333+383.

1965

- [65-1], Weigler, H., Reismann, K.
Untersuchungen an Konstruktions-Leichtbetonen.
Betonstein-Zeitung V. 31, No. 11, 1965, pp. 615.
- [65-2], Landgren, R., Hanson, J.A., Pfeiffer, D.W.
An improved Procedure for Proportioning Mixes
of Structural Lightweight concrete.
Journal of PCA Res. and Dev. Lab. V. 7, No. 2,
1965, pp. 47.

- [65-3], Ledbetter, W.B., Thompson, J.N.
A Technique for evaluation of Tensile and
Volume change characteristics of Structural
Lightweight Concrete.
ASTM. Proceedings V. 65, 1965, pp. 712.
- [65-4], Lewis, R.H., and Blakey, F.A.
Moisture Conditions Influencing the tensile
Splitting Strength of Lightweight Concrete.
Constructional Review (Sydney) V. 38, No. 8,
1965, pp. 17.
- [65-5], Roesser, K.
Erfahrungen mit konstruktiven Leichtbeton in
U.S.A.
Betonstein-Zeitung, V.p. 31, No. 11, 1965,
pp. 630.
- [65-6]. Schulz, B.
Grundlagen für die Herstellung Konstruktiver
Leichtbetone aus geblähten Zuschlagstoffen.
Betonstein-Zeitung. V. 31, No. 11+12, 1965,
pp. 638+695.
- [65-7], Schulz, B.
Konstruktions-Leichtbeton aus Leca-blähton
Beton, V. 15, 1965, pp. 93.
- [65-8], Walz, K., Bonzel, J., Baum, G.
Versuche mit Leichtbeton hoher Festigkeit
Beton, V. 15, No. 2+3, 1965, pp. 59+107.
- 1966
- [66-1], Ivey, Don L., Buth, Eugene
Splitting Tension Test of Structural Light-
weight Concrete.
Journal of Materials V. 1, No. 4, 1966, pp.859.

- [66-2], Aurich, H.
Kriechen und Schwinden von Leichtbeton
Beton, V. 16, No. 1, 1966, pp. 119.
- [66-3], Bernhardt, C.J.
Armert betong og spennbetong med lett tilslag
Betongtekniska Publikasjoner, No.6, 1966, pp.11.
- [66-4], Heufers, H., Aurich, H.
Beitrag zur entwicklung des konstruktiven
Leichtbetons in Deutschland.
Betonstein-Zeitung, V. 32, No. 4, 1966, pp.265.
- [66-5], Holm, T.A., Pistrang, J.
Timedependent Load Transfers in Reinforced
Leightweight Concrete Columns.
ACI-Journal Proceedings V. 63, No. 11, 1966,
pp. 1231.
- [66-6], Nesbit, J.K.
Structural Lightweight aggregate concrete
London 1966.

1967

- [67-1], Bache, H.H.
Strength of structural lightweight aggregate
concrete.
Betonforskningslaboratoriet, intern rapport
nr. 155.
- [67-2], Polivka, M., Pirtz, D., Capanoglu, C.
Influence of rate of loading on strength and
elastic proporties of structural lightweight
concretes.
Rilem 1967, Budapest.
- [67-3], ACI-Committee 213
Guide for Structural Lightweight Aggregate
Concrete.
ACI-Journal Proceedings V. 64, No. 6, 1967,
pp. 433.

[67-4], Pfeifer, D.W.

Sand replacement in Structural Lightweight Concrete. Splitting Tensile Strength.
ACI-Journal Proceedings V. 64, No. 7, 1967,
pp. 384.

[67-5], Beecraft, G.W.

Time Dependent Deformations of Two Light-weight Aggregate Concretes
Highway Research Record No. 147, 1967.

[67-6], Comité Européen du Béton

Structures en Beton Legers
Bulletin D'information No. 59, 1967.

[67-7], Ganuscheff, A.

Einfluss der Qualität Leichter Zuschlagstoffe auf Druchfestigkeit und Raumgewicht von Leichtbetonen.
Zement und Beton, No. 41, 1967, pp. 13.

[67-8], Grimer, F.J.

The durability of steel embedded in lightweight concrete.
Concrete, V. 1, No. 4, 1967, pp. 125.

[67-9], Heufers, H.

Über die ersten Ingenieurbauwerke aus Leichtbeton in Deutschland.
Beton, V. 17, No. 5, 1967, pp. 161.

[67-10], Ivey, D.L., Buth, E.

Shear Capacity of Lightweight Concrete Beams
ACI-journal. Proceedings V. 64, No. 10, 1967,
pp. 634.

[67-11], Lahl, W.

Beitrag zum Problem des Konstruktionsleichtbetons.
Tonindustrie-Zeitung V. 91, No. 9, 1967, pp.355.

[67-12], Pfeifer, D.W., Hanson, J.A.

Sand Replacement in Structural Lightweight Concrete, Sintering grate aggregates
ACI-journal. Proceedings V. 64, No. 3, 1967,
pp. 121.

[67-13], Teychenne, D.C.

Structural concrete made with lightweight aggregates Concrete, V. 1, No. 4, 1967, pp.111.

[67-14], Wesche, K.

Stoffliche Grundlagen zum Entwurf von Leichtbetonkonstruktionen.
Beton- und Stahlbetonbau V. 62, No. 11, 1967,
pp. 256.

[67-15], Weigler, H.

Konstruktionsleichtbeton in Deutschland
Betonstein-Zeitung V. 33, No. 12, 1967, pp.557.

1968

[68-1], Hanson, J.A.

Effects of curing and drying environments on splitting tensile strength of concrete.
ACI-journal Proceedings V. 65, No. 7, 1968,
pp. 535.

[68-2], Pfeifer, D.W.

Sand replacement in structural lightweight concrete, creep and shrinkage studies.
ACI-journal Proceedings V. 65, No. 2, 1968,
pp. 131.

[68-3], Bache, H.H.

Stærk exler
Betonforskningslaboratoriet, intern rapport nr. 166.

[68-4], Bache, H.H., Mikkelsen, A., Thomasen, D.

Proportionering af exlerbeton til bærende konstruktioner.
Betonforskningslaboratoriet, intern rapport nr. 167.

- [68-5], Short, A., Kinniburgh, W.
Lightweight Concrete
CR Books, LTD, London 1968.
- [68-6], Gerstner, H.
Stahlleicht- und Spanlleichtbeton
Schriftenreihen der Bauforschung, Reihe Stahl-
beton nr. 9.
- [68-7], Diemel, E., Laparose, H.
Erste Bundesstrassenbrücke in Leichtspannbeton
LB 450
Beton und Stahlbeton V. 63, No. 7, 1968, pp.145.
- [68-8], Hardt, K.
Erfahrungen bei der baustellenmässigen Her-
stellung von Leichtbeton hoher Festigkeit.
Beton, V. 18, 1968, pp. 347.
- [68-9], Helms, S.B., Bowman, A.L.
Corrosion of steel in lightweight concrete
specimens
ACI-Journal Proceedings V. 65, No. 12, pp.1011.
- [68-10], Kruml, F.
Short and long-term deformation of structural
lightweight aggregate concrete.
Proceedings of the first international congress
on Lightweight Concrete, London, May 1968.
- [68-11], Steindl, A.
Konstruktionsleichtbeton-Versuche aus Österreich
Betonstein-Zeitung, V. 34, No. 5, 1968, pp.241.
- [68-12], Reinsdorf, S.
Konstruktionsleichtbetone. Forschungsergebnisse
und Anwendungsbeispiele aus dem Institut für
Stahlbeton, Dresden
Beton V. 18, No. 11, 1968, pp. 431.

[68-13], Weigler, H., Karl, S.

Frost- und Tausalz widerstand und Verschleiss
verhalten von Konstruktionsleichtbetonen
Betonstein-Zeitung, V. 34, No. 5+11, 1968,
pp. 225+581.

[68-14], Schultze, W., Günzler, I.

Korrosionsschutz der Bewehrung im Leichtbeton
Betonstein-Zeitung, V. 34, No. 5, 1968, pp.252.

1969

[69-1], Manabu, Fujii

Bearing Capacity of Lightweight Aggregate
concrete.

Reprint from, Journal of the society of materi-
als science, Japan, V. 18, No. 185, 1969, pp.136.

[69-2], Brøndum-Nielsen, T.

Betonkonstruktioner I

Laboratoriet for bærende konstruktioner, DTH, 1969.

[69-3], Aurich, H.

Betontechnologische und Baustellenpraktische
Erfahrungen mit Konstruktionsleichtbeton
Beton V. 19, No. 9+10, 1969, pp. 397+447.

[69-4], Körner, W.

Erzeugung von leichtbeton unter Verwendung ge-
blähter zuschlagstoffen
Betonstein-zeitung V. 35, No. 6, 1969, pp.365.

[69-5], Pfefferkorn, W.

Bemessungen von Bauwerken aus Stahleichtbeton.
Betonstein-Zeitung V. 35, No. 6, 1969, pp.359.

[69-6], Rostasy, F.S.

Schubtragfähigkeit von Stahleichtbeton.

Stand der Forschung, Vorschriften, Versucher-
gebnisse.

Betonstein-Zeitung, V. 35, No. 12, 1969, pp.738.

[69-7], Weigler, H., Karl, S.

Kriechen von Konstruktionsleichtbeton bei
frühzeitiger Belastung.

Betonstein-Zeitung V. 35, No. 10, 1969, pp.584.

[69-8], Ivy, C.B., Ivey, D.L., Buth, E.

Shear Capacity of Lightweight Concrete Flat
Slabs.

ACI-journal V. 66, No. 6, 1969, pp. 490.

1970.

[70-1], Nielsen, T.P.H.

Exlerbeton til bærende konstruktioner. Svind
Betonforskningslaboratoriet, intern rapport
nr. 235, September 1970.

[70-2], Burström, P.G., Fagerlund, G.

Undersökning af bims som ballastmaterial ved
betonggjutning.

Tekniska Högskolan i Lund. Inst. för byggnads-
teknik, Avd. byggnadsmateriallære.

Lund 5. oktober 1970.

[70-3], Alsen, K., Schäfer, W.

Die fussgängerplattform am Selterstor in Giessen
Beton und Stahlbetonbau Vol. 65, No. 6, 1970,
pp. 135.

[70-4], Haegermann, H.

Leichtbeton unter Verwendung von Blähton, er-
zielbare Festigkeiten und bauphysikalische
Fragen

Betonstein-Zeitung, Vol. 36, No. 10, 1970,pp.594.

[70-5], Mängel, S.

Vergleichsversuche mit deutschen Leichtzu-
schlägen

Betonstein-Zeitung, Vol. 3, No. 3, 1970,pp.177.

[70-6], Zelger, C.V.

Liegt der Unterschied zwischen Leicht- und
Schwerbeton nur im Gewicht
Beton, Vol. 21, No. 3, 1970, pp. 90.

1971

[71-1], Weigler, H., Frey, H.

Überwachung der Betongüte von Fertigteilen
aus Stahlleichtbeton mit Hilfe der Schlagprü-
fung.

Beton- und Stahlbetonbau, vol. , No. 6, pp. 149.

[71-2], Mondorf, P.E., Ingholt, N.U.

Letbeton til bærende konstruktioner
Særtryk af Nordisk Betong No. 3, 1971.

[71-3], Lewicki, B.

Bewerhte Leichtbetonkonstruktionen
Berlin, 1971, 133 sider.

[71-4], Commissie voor uitvoering van research ingesteld door
de betonvereniging, CUR.

Lichtbeton, Rapport nr. 48, Mai 1971.

[71-5], Sørensen, H.C.

Forskydning i jernbetonbjælker, Teori og forsøg.
Afd. for Bærende Konstruktioner, DTH.
Intern Rapport Nr. I 10, 1971.

[71-6], Krauss, R., Bachmann, H.

Biege- und Schubversuche and teilweise vorge-
spannten Leichtbetonbalken.
Institut für Baustatik. Erdgenössische
Technische Hochschule, Zürich, Okt. 1971.

[71-7], Johansson, Magnus, E.

Letbeton, Eksamensprojekt 1971
Afdelingen for Bærende Konstruktioner, DTH.

[71-8], Nesbit, J.K.

Lightweight Concrete

Proceedings of a symposium held at the University of Birmingham, 28-29. september 1971.

71-9], Owens, P.L.

A technique for Production of High-early-strength Lightweight concrete.

Proceedings of a symposium held at the University of Birmingham 28-29. september 1971.

[71-10], Weigler, H., Karl, S.

Stahlleichtbeton, Herstellung, Eigenschaften, Ausführung.

Wiesbaden, Berlin, 1971, 260 sider.

1972

[72-1], Letkonstruktionsbeton, styrke og elasticitet,

Afdelingen for Bærende Konstruktioner,
DTH, Sagsrapport nr. S 38/71, 1972.

[72-2], Lightweight Concrete

Comite Europeen du Beton

Bulletin d'information nr. 85, Maj 1972.

[72-3], Exlerbeton, Teknologi, Fremstilling, Anvendelse

Nordisk exlerbetonkonference.

Aarhus d. 8.-10. november 1972.

[72-4], Lemvig-Müller & Munch A/S

Konstruktionsbeton

Leca meddelelse nr. 214.

[72-5], Foreløbig rapport vedr. let konstruktionsbeton

Cowiconsult, 14. november 1972, ikke publiceret.

[72-6], Burstrøm, P.G. Mattisson L-G.

Icelandic Pumice Used in Lightweight Aggregate Concrete.

Nordisk Betong Vol., No. 3, 1972, pp. 229.

[72-7], Prindal-Nielsen, K.

Pantheon-kuplen, det ældste eksempel på
letbeton.

Vor Viden No. 11, 1972, pp. 684.

1973

[73-1], Rapport vedr. Exlerbeton til forspændt stibro
ved Brønsholm.

Betonforskningslaboratoriet, Karlstrup,
6. februar 1973.

[73-2], Schwartzlose, B.

Gang- og cykelstibro i exlerbeton.

Nordisk Betong No. 1, 1973, pp. 14.

[73-3], Styrke og elasticitetsforsøg med let konstruktions-
beton, December 1972.

Rapport fra Afd. for Bærende Konstruktioner, DTH.

[73-4], Schwartzlose, B., Svendsen, P.R.

Gang- og cykelstibro i forspændt exlerbeton.

Betonteknik 2/03/1973.

5.2 EmnefortegnelseTilslagsmaterialer

[61-2] [61-5] [63-1] [64-6] [65-1] [65-6] [65-8] [66-4]
 [67-1] [67-3] [67-5] [67-7] [67-11] [67-13] [68-3] [68-5]
 [68-11] [70-2] [70-5] [71-7] [72-3] [72-4] [72-6]

Friskbetonteknologi

[61-2] [61-5] [65-1] [65-2] [65-6] [66-4] [67-3] [68-4]
 [68-5] [68-7] [68-8] [69-3] [69-4] [70-5] [71-9]

Rumvægt- styrke- og elasticitetsforhold

[60-1] [61-1] [61-2] [61-3] [61-5] [62-1] [62-2] [63-2] [64-1]
 [64-2] [64-3] [64-4] [64-8] [65-1] [65-3] [65-4] [65-6] [65-8]
 [66-1] [66-4] [67-1] [67-2] [67-3] [67-4] [67-5] [67-7]
 [67-10] [67-11] [67-12] [67-13] [68-1] [68-5] [68-7] [68-10]
 [69-1] [69-3] [70-2] [70-4] [70-5] [70-6] [71-1] [71-7]
 [71-9] [72-1] [72-4] [72-6] [73-1] [73-3]

Svind og krybning

[64-3] [64-4] [65-1] [65-8] [66-2] [66-4] [66-5] [67-3]
 [67-4] [67-5] [67-6] [67-12] [68-2] [68-5] [68-10] [69-7]
 [70-1]

Forankring af armering og revnedannelse

[65-1] [66-3] [67-3] [67-6] [68-5] [71-3]

Permeabilitet

[66-4] [70-4] [71-4]

Varmedvidelse, varmeledning og brandsikkerhed

[67-3] [68-5] [72-2] [72-4]

Frostbestandighed og slidstyrke

[61-4] [68-13] [71-4] [72-2]

Korrosionsbeskyttelse

[67-8] [68-5] [68-9] [68-14] [71-3]

Beregningsmetoder

[61-1] [64-5] [66-6] [67-3] [67-10] [68-5] [68-6] [68-7]
[69-5] [69-6] [69-8] [71-3] [71-6] [71-8] [72-3]

Forsøg med konstruktionselementer

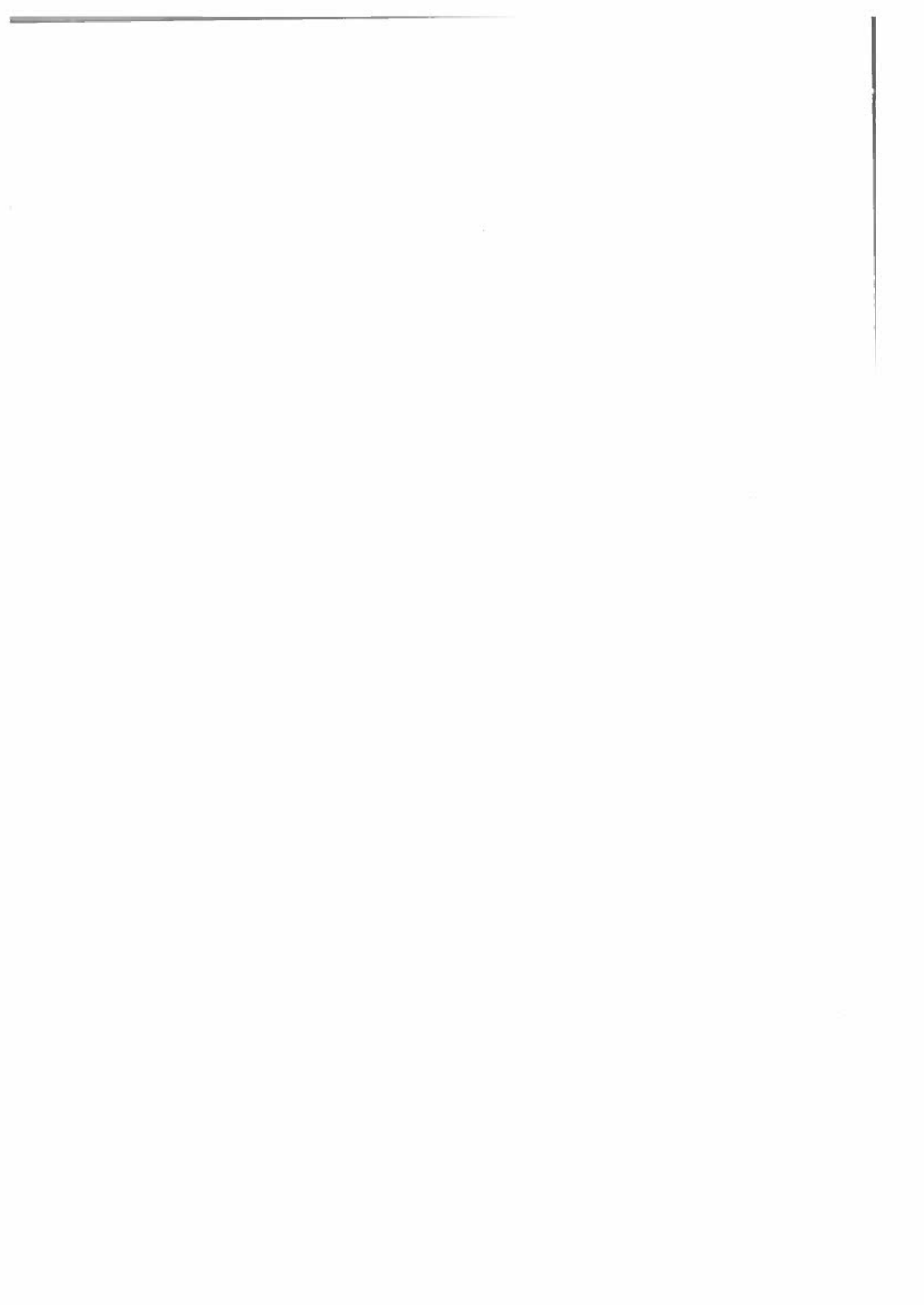
[61-1] [64-5] [65-1] [66-3] [66-5] [67-10] [68-5] [68-12]
[69-6] [69-8] [70-3] [71-6]

Generelt beskrivende

[61-2] [64-4] [64-7] [65-6] [65-8] [66-6] [67-3] [67-9]
[67-11] [67-14] [67-15] [68-6] [68-12] [69-5] [70-6] [71-2]
[71-3] [71-4] [71-8] [71-10] [72-2] [72-3] [72-7]

Udførte konstruktioner

[65-5] [65-6] [67-3] [67-9] [68-7] [70-3] [72-5] [73-2]
[73-3] [73-4]



Structural Research Laboratory
Technical University of Copenhagen, Denmark

REPORTS

- R 1. Askegaard, Vagn and P. Thoft-Christensen: Spændingsoptiske lag og tøjningsmålere. 1967. Out of print
- R 2. Møllmann, H.: The Principle of Virtual Work for Continuous Systems Derived by a Direct Method. 1968.
- R 3. Askegaard, Vagn: Production and Application of Model Materials with Desired Physical Constants. 1968.
- R 4. Møllmann, H.: The Analysis of Shallow Cables. 1968.
- R 5. Dyrbye, Claës: Damped Vibrations of Slender Beams. 1968. Out of print
- R 6. Møllmann, H.: Analysis of Plane Prestressed Cable Structures. 1969.
- R 7. Nielsen, Leif Otto: Beregning af bjælker og rammer dynamisk påvirket ud over det elastiske område. 1968. Out of print
- R 8. Bræstrup, Mikael W.: On the Theory of Plastic Plates. 1969. Out of print
- R 9. Nielsen, Leif Otto: Uniqueness Problems and Minimum Principles in the Dynamic Theory of Plasticity. 1969. Out of print
- R 10. Byskov, Esben: Two Nearly Polygonal Holes. Mathematical Crack Problems. 1969.
- R 11. Bræstrup, Mikael W.: The Cosserat Surface and Shell Theory. 1970. Out of print
- R 12. Askegaard, Vagn: Anvendelse af modelanalyse. 1970.
- R 13. Solnes, Julius: The Spectral Character of Earthquake Motions. 1970. Out of print
- R 14. Bræstrup, Mikael W.: Yield Lines in Discs, Plates and Shells. 1970. Out of print
- R 15. Møllmann, J.: Beregning af hængekonstruktioner ved hjælp af deformationsmetoden. 1970. Out of print
- R 16. Byskov, Esben: The Calculation of Stress Intensity Factors Using the Finite Element Method with Cracked Elements. 1970.
- R 17. Askegaard, V.: Grundlaget for adhæsion. 1970.
- R 18. Summaries of Lecture Notes on Experimental Stress Analysis. 1970. Out of print
- R 19. Sørensen, Hans Christian: Forskydning i jernbetonbjælker. 1970.
- R 20. Sørensen, Hans Christian: Forskydningsforsøg med 12 jernbetonbjælker med T-tværsnit. 1971.
- R 21. Møllmann, H.: Analysis of Hanging Roofs Using the Displacement Method. 1971. Out of print
- R 22. Haurbæk, Poul E.: Dæmpede svingninger i spændbetonbjælker. Svingningsforsøg med simpelt understøttede bjælker. Publication pending

- R 23. Bræstrup, M.W.: Yield-line Theory and Limit Analysis of Plates and Slabs. 1971.
- R 24. Dyrbye, Claës: Pendulum Vibrations. 1971. Out of print
- R 25. Møllmann, H.: Analytical Solution for a Cable Net over a Rectangular Plan. 1971.
- R 26. Nielsen, J.: Silotryk. 1972.
- R 27. Askegaard, V., M. Bergholdt and J. Nielsen: Problems in connection with pressure cell measurements in silos. 1972.
- R 28. Ramirez, H. Daniel: Buckling of plates by the Ritz methods using piecewise-defined functions. 1972.
- R 29. Thomsen, Kjeld & Henning Agerskov: Behaviour of butt plate joints in rolled beams assembled with prestressed high tensile bolts. 1972.
- R 30. Julius Solnes and Ragnar Sigbjörnsson: Structural response to stochastic wind loading. 1972.
- R 31. H.J. Larsen og H. Riberholt: Forsøg med uklassificeret konstruktionstræ. 1972.
- R 32. Vagn Askegaard: Programme and methods of teaching of experimental mechanics. 1972. Out of print
- R 33. Julius Solnes and Ole Holst: Weight optimization of framed structures under earthquake loads. 1972.
- R 34. Rostam, Steen and Esben Byskov: Cracks in Concrete Structures. A Fracture Mechanics Approach. 1973.
- R 35. Sørensen, Hans Chr.: Efficiency of Bent-up Bars as Shear Reinforcement. 1973.
- R 36. Krenk, Steen: Singulær integralformulering af nogle plane friktionsfri kontaktproblemer. 1973.
- R 37. Philipsen, Claus: An investigation of the stability of columns with thin-walled open cross-section. 1973.
- R 38. Theilgaard, Esko: Integralligningsmetoder anvendt på problemer inden for bygningsstatikken. 1973.
- R 39. Henrichsen, Lars: Linearly viscoelastic finite elements. 1973.
- R 40. Bryndum, Mads: Litteraturstudium vedrørende let konstruktionsbeton. 1973.
- R 41. Holst, Ole: Beregning af plane rammekonstruktioner med geometrisk ikkelinearitet. 1973.