



Afdelingen for Bærende Konstruktioner
Department of Structural Engineering
Danmarks Tekniske Højskole - Technical University of Denmark

Gennemlokning af Huldækelementer

B. Pedersen

U. Hesse

H. Exner

M. P. Nielsen

Serie R

No 182

1984

GENNEMLOKNING AF
HULDEKELEMENTER

B. FEDDERSEN, CIVILINGENIØR
U. HESS, CIVILINGENIØR, LIC. TECHN.,
H. EXNER, CIVILINGENIØR, LIC. TECHN.,
M.P. NIELSEN, PROFESSOR, DR. TECHN.

FORORD

Denne rapport er muliggjort gennem økonomisk støtte fra Statens Teknisk Videnskabelige Forskningsråd (STVF). Forsøgselementerne er skænket af Højgaard & Schultz A/S.

Projektet blev ledet af professor M.P. Nielsen efter en ide af Hans Exner. Forsøgene er udført af Uwe Hess, B. Feddersen har stået for skrivningen af første udkast til rapporten, medens alle har deltaget i diskussionen omkring den tekniske beregningsmodel samt udførelsen af forsøgene.

Rapporten er maskinskrevet af Bente Kjølhede Petersen, medens Esther Martens har stået for udførelsen af tegningerne. Fotografierne er taget af Christian Bramsen.

Gennemlønning af Huldækelementer
Copyright © by B. Feddersen, U. Hess, H. Exner og M.P. Nielsen 1984

Tryk:
Afdelingen for Bærende Konstruktioner
Danmarks Tekniske Højskole
Lyngby
ISBN 87-87336-13-8

RESUME

I rapporten beskrives gennemløkningsforsøg med forspændte ståndarduldkelelementer. Forsøgenes formål var at undersøge forskydningsstyrkens afhængighed af kraftens placering i forhold til pladerande og fuger. Forsøgene er endvidere søgt indpasset i en simpel teoretisk model baseret på brudlinieteorien.

SUMMARY

The report describes some punching shear tests on prestressed hollow core elements. The purpose was to study the effect on the punching shear strength of the point of application of the load i.e. how this is situated with respect to slab boundaries and joints. The tests are treated theoretically by means of a simple model based on yield line theory.

INDHOLDSFORTEGNELSE

| | <u>Side</u> |
|-------------------------------|-------------|
| 1. Indledning | 1 |
| 2. Forsøgselementerne | 2 |
| 3. Forsøgssopstilling | 5 |
| 4. Forsøgsresultater | 11 |
| 4.1 Armeringen | 11 |
| 4.2 Beton | 12 |
| 4.2.1 Huldækkenens beton | 12 |
| 4.2.2 Fugebetonen | 13 |
| 4.3 Brudbelastning | 14 |
| 4.4 Beskrivelse af brudform | 16 |
| 5. Beregningsmetoder | 27 |
| 5.1 Gennemløkningsbrud | 27 |
| 5.2 Bøjningsbrud | 29 |
| 5.3 Teori vurderet ved forsøg | 33 |
| 6. Konklusion | 36 |
| Litteratur | 37 |

SYMBOLER

| | |
|----------------------------------|--|
| <u>h</u> | Huldæklemmenternes højde . |
| <u>d_{cy1}</u> | Diameter af huldæklemmenternes udsparinger. |
| <u>h_a</u> | Huldæklemmenternes effektive højde . |
| <u>b</u> | Centerafstand mellem udsparingerne . |
| <u>l</u> | Huldæklemmenternes længde fra understøtning til understøtning . |
| <u>a</u> | Belastningsarealets kvadratiske sidelængde . |
| <u>h_{cy1}</u> | Trykstyrkecylindernes højde . |
| <u>d</u> | Trykstyrkecylindernes diameter. |
| <u>c</u> | Dimensionsfaktor som anvendes ved bestemmelsen af betonnens cylindertykstyrke (se (4.1)). |
| <u>Y₀</u> | Trykzonehøjde. |
| <u>v</u> | Flytningsvektor. |
| <u>σ_c</u> | Betonnens cylindertykstyrke (d = 150 mm, h _{cy1} = 300 mm). |
| <u>σ_t</u> | Betonnens trækstyrke. |
| <u>v</u> | Effektivitetsfaktor, som multipliceret med betonnens cylindertykstyrke (σ _c) angiver betonnens plastiske trykstyrke. |
| <u>ρ</u> | Effektivitetsfaktor, som multipliceret med betonnens cylindertykstyrke (σ _c) angiver betonnens plastiske trækstyrke. |
| <u>m_f</u> | Positive flydemoment. |
| <u>m_f⁻</u> | Negative flydemoment. |
| <u>μ</u> | m_{fy}/m_{fx} . |
| <u>P</u> | Enkeltkraft. |
| <u>P_{br}</u> | Brudværdien af enkeltkraften. |

INDEKS OG FORKORTELSER

(x, y, z) Koordinatsystem hvor x-aksen er parallel med udsparringerne .

| | |
|--------|-------------------------------|
| forsøg | Forsøgsmæssigt bestemt værdi. |
| teori | Teoretisk bestemt værdi. |
| M. | Gennemsnitsværdi. |
| V.K. | Variationskoefficient. |

1. INDLEDNING

Præfabrikerede huldelementer har gennem en lang årrække været anvendt i boligbyggeriet. Ønsket om også at anvende disse elementer i fabriksbygninger, hvor kraftige enkeltkræfter kan forekomme, har dannet baggrund for dette projekt.

Da det hverken økonomisk eller tidsmæssigt har været muligt indenfor rammerne af dette projekt at foretage både en dækkende forsøgsbeskrivelse og en dybtgående teoretisk vurdering, har projektet primært haft det formål at give nogle fingerpeg om huldelementernes forsøgningsstyrke, samt antyde nogle simplificerede og tilnærmede beregningsmetoder.

2. FORSGGELEMENTERNE

De forspændte huldekelementer, som blev anvendt ved forsøgene, er fremstillet efter spirroll-metoden. Elementerne støbtes i det-
te tilfælde i baner på 110 m's langde ved en ekstruderingsproces
hvor støbmaskinen, medens den bevæger sig henad banen, former og
komprimerer betonen. Efter hardning skræres elementerne med en dia-
mantsav i de ønskede længder.

Huldækkenes tværnsnitsdimensioner fremgår af fig. 2.1, medens
fig. 2.2 viser dækkenes udseende set ovenfra.

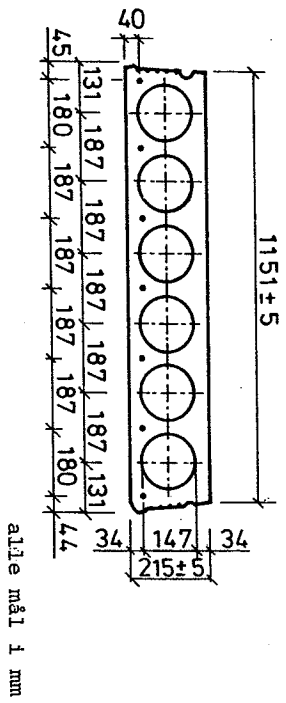


Fig. 2.1. Huldækkenes tværnsnitsdimensioner.

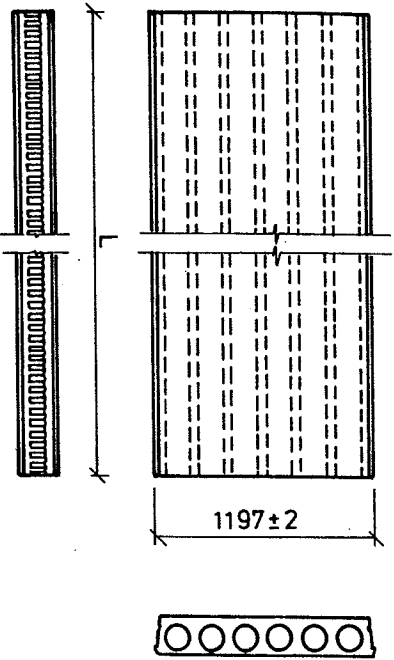


Fig. 2.2. Huldækkene set ovenfra

alle mål i mm

I fig. 2.3 er dækkenes langsgående sidelinje vist i detaljer.

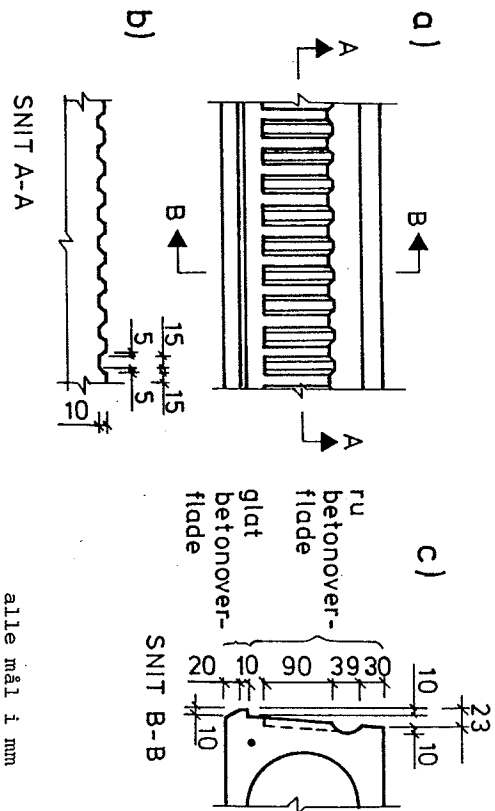


Fig. 2.3. Udformningen af dækkenes langsgående sidelinje.

alle mål i mm

Fem huldækelementer med en langde på (8300 ± 100) mm inddeltes i
tre dele, nemlig to elementer med længden cirka 4000 mm og et
lille element med længden 140 mm. Inddelingen samt nummerering-
gen af elementerne fremgår af fig. 2.4.

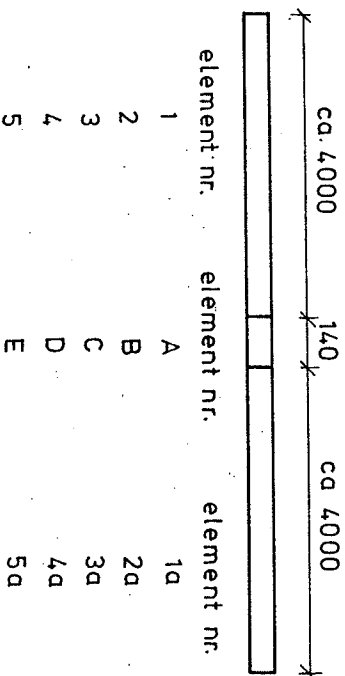


Fig. 2.4. Elementinddelingen

Elementerne A - E blev anvendt til udskæring af cylindre

alle mål i mm

($d = 70$ mm, $h_{cyl} = 140$ mm) til bestemmelse af betonens trykstyrke. Af fig. 2.5 fremgår det hvor i elementerne A - E cylindrerne blev udsåret, samt hvilke numre disse har.

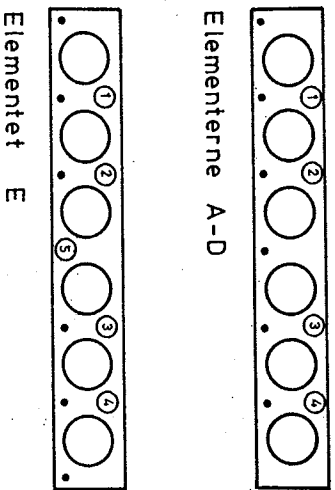


Fig. 2.5. De udborede cylindres placering i elementerne A - E.

Som armering anvendtes i elementerne grade 270 (brudspænding på 1860 N/mm²) efter Amerikansk standard ASTM A416 gældende for liner til forspændt beton. Armeringens placering i elementerne fremgår af fig. 2.6.

Forsøgene blev udført cirka 19 måneder efter elementernes støbning.

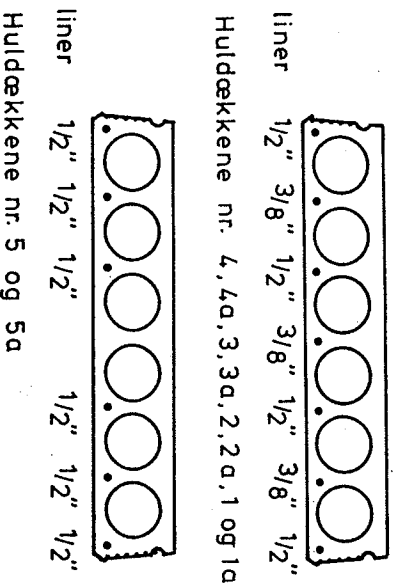


Fig. 2.6. Huldækkenes armering.

3. FORSØGSOPSTILLING

For at opnå en spændingstilstand som i dels et randelement og dels et indre element anvendtes to forsøgsopstillinger:

Der udførtes forsøg med simpelt oplagte enkeltlementer, som vist i fig. 3.1. For at sikre en tilstrækkelig forankring af armeringen ragede elementerne cirka 1 m udover hver understøtningslinje som det fremgår af fig. 3.1.

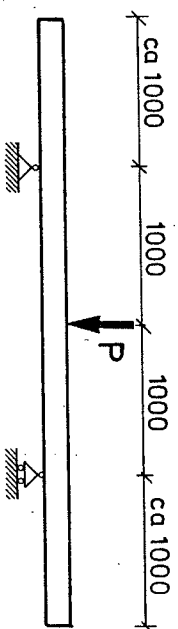


Fig. 3.1. Forsøg med simpelt oplagte enkeltlementer.

Elementerne blev belastet af en enkeltkraft med et areal på 0,1 x 0,1 m², svarende til definitionen på en enkeltkraft i DS 410. Elementerne blev af enkeltkraften angrebet i midtlinjen mellem understøtningslinjerne. Angrebspunktet i sideværtsretningen var varierende som det fremgår af fig. 3.2, dog således at kraften altid var placeret midt mellem to udsparringer, det vil sige lige over en krop, svarende til farligste belastningsplacering.

Forsøg blev også udført med sammenstøbte elementer. Meningen med disse forsøg var at søge de forhold genskabt, som optræder i det indre af et større område med dakelementer. For at opnå disse forhold anbragtes en ramme ved elementernes sidekant ved vederlagene. Mellemrummet mellem rammen og elementerne blev udstøbt med fugebeton for at hindre deformationer på tværs, se billederne i fig. 3.3 og fig. 3.4.

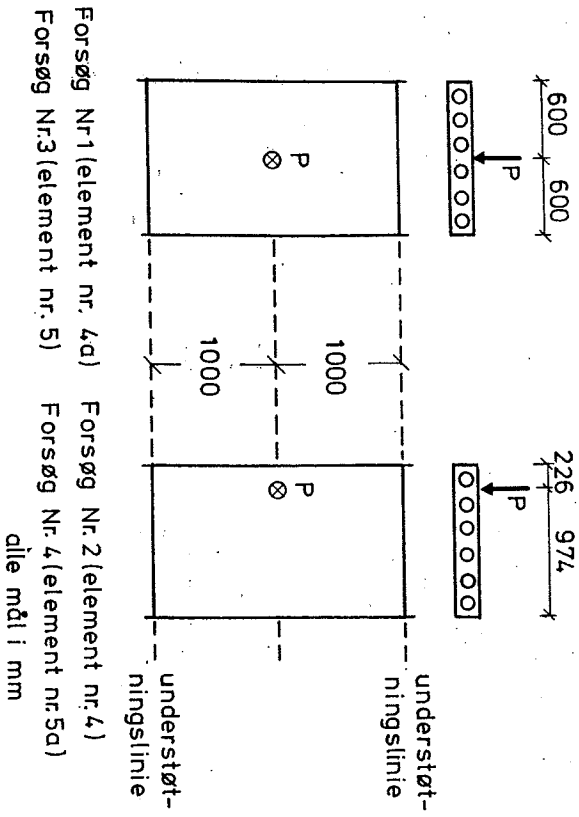


Fig. 3.2. Forsøgene med simpelt oplagte enkeltlementer.

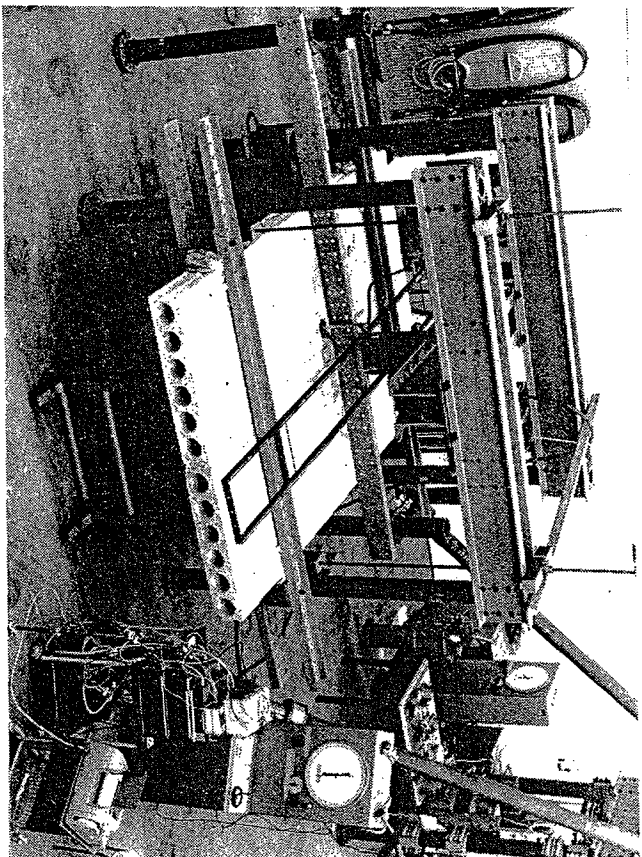


Fig. 3.3. Forsøgsopstillingen med sammensatte elementer.

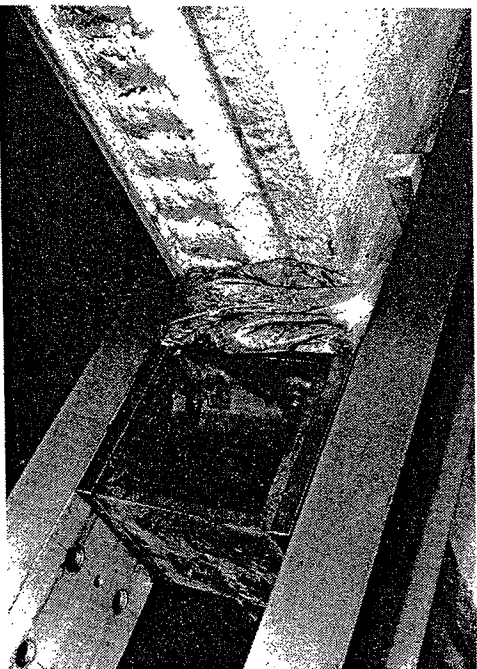


Fig. 3.4. Fugebeton til hindring af deformationer på tværs

Forsøgsbetingelserne for denne serie var derudover de samme som for den første forsøgsserie. Sideværts placering af enkeltkraften i denne forsøgsserie fremgår af fig. 3.5. Ved forsøg nr. 6 placeredes enkeltkraften ovenpå fugen, således at kraften gik ind over begge elementer. Fugen blev, hvor kraften skulle angribe, afrettet med epoxy-beton. Om forsøg nr. 7 bemærkedes det, at da forsøg nr. 7A var gennemført og fugen ikke havde taget skade, blev det andet element også belastet til brud (forsøg nr. 7B).

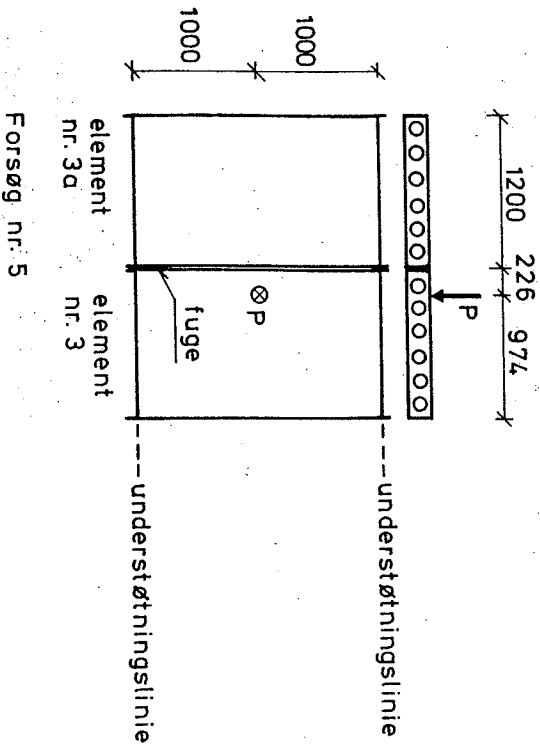


Fig. 3.5. Forsøg med sammenstøbte elementer. (Fortsættes)

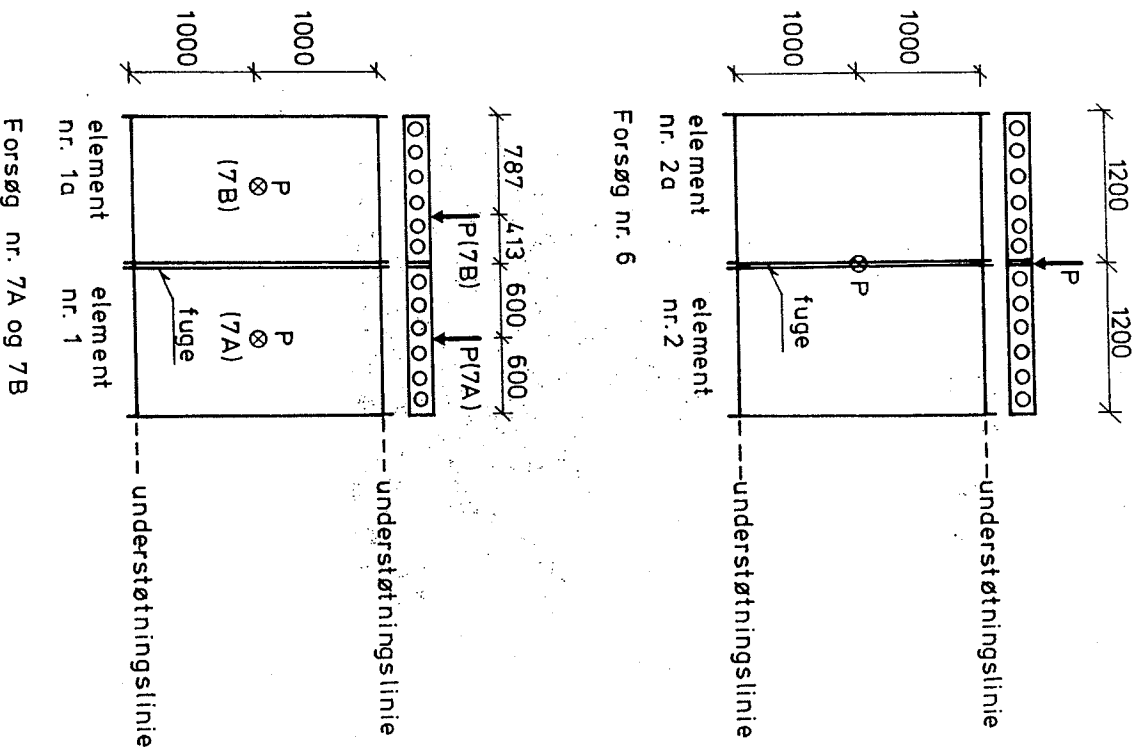


Fig. 3.5. Forsøg med sammenstøbte elementer.

I fig. 3.6 er udstøbningen mellem elementerne vist.
 Ved alle forsøgene øgedes belastningen med 9,81 kN pr. 5 min.
 (dog undtaget forsøg nr. 5 i belastningsområdet fra 0 - 98,1 kN,
 hvor øgningen var 19,62 kN pr. 5 min.).

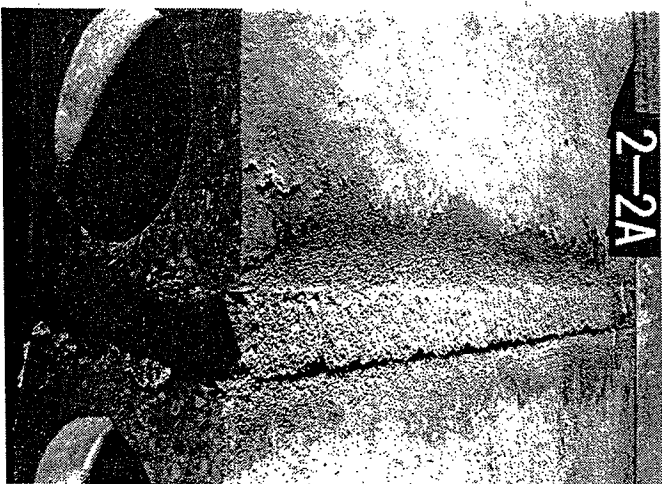


Fig. 3.6. Udstøbning mellem dækelementerne ved forsøg nr. 5, 6 og 7.

4. FORSØGSRESULTATER

4.1 ARMERINGEN

De her angivne værdier for armeringen er de af elementfabrikken oplyste, som er fundet ved forsøg. Værdierne er anført i tabel 4.1.

| | | |
|---|-------|----------------------|
| Dimension: | 1/2" | 3/8" |
| Tværsnitsareal: | 98,7 | 54,8 mm ² |
| Brudspænding: | 1860 | 1860 MPa |
| Brudkraft: | 183,7 | 102,3 kN |
| Effektiv forspændingskraft efter svind og krybning: | 113,5 | 63,0 kN |
| Effektiv forspænding efter svind og krybning: | 1150 | 1150 MPa |

Tabel 4.1. Værdier for armeringen.

I fig. 4.1 er armeringens arbejdskurve optegnet.

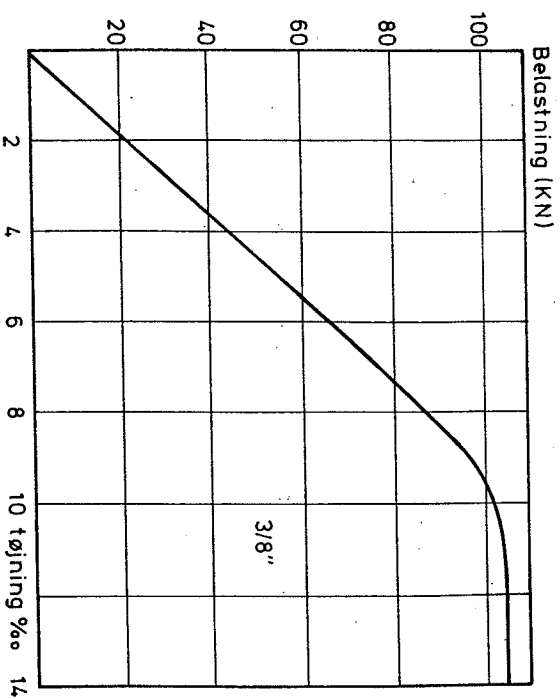


Fig. 4.1. Armeringens arbejdskurve

4.2 BETON

4.2.1 HULDÆKKENES BETON

Blandingsrecepten for den i huldækkene anvendte beton fremgår af tabel 4.2.

| Blanding svarende til 1 m ³ beton | |
|--|--------|
| cement | 400 kg |
| granit skærver (6/10) | 867 - |
| bakkegrus (0/8) | 1120 - |
| vand | 150 - |

Tabel 4.2. Blandingsrecepten for betonen i huldækkene.

I tabel 4.3, er på basis af emnerne i fig. 2.5 anført den forsøgsbestemte cylinderrykstyrke. Højden af cylindrene varierede fra 124 mm til 140 mm. Enkelte af de udskårne cylindre var vindskæve og måtte tilskæres. Enkelte af cylindrene er helt udeladt på grund af manglende kanter. I betonomrmen DS411, 2. udgave 1973, angives følgende omsætningsfaktor, hvis styrken ønskes omsat til cylindre med dimensionen $d = 150$ mm og $h_{cyl} = 300$ mm

$$c = 0,0007 h_{cyl} + 0,8 \quad (h_{cyl} \text{ i mm}) \quad (4.1)$$

Denne faktor er anvendt ved bestemmelsen af σ_c i sidste kolonne i tabel 4.3.

| CYL. nr. | 1 | | | | 2 | | | | 3 | | | | 4 | | | | 5 | | | | M | | | | V.K. | h _{cyl} mm | σ_c N/mm ² | | | | | | | | | | |
|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------|------|-------|------------------------|---------------------------------|------|------|------|-------|------|------|-------|-------|------|------|
| | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | 81,5 | ÷ | 89,6 | 88,8 | ÷ | 86,6 | 5,15 | 140 | 77,8 | ÷ | 84,0 | 7,92 | 140 | 75,4 | ÷ | 83,8 | 3,71 | 124 | 74,3 | ÷ | 75,5 | 15,08 | 140 | 67,8 | ÷ | 85,3 | 13,52 | 124 | 75,6 | | | | | | | | |
| B | + | 81,5 | 91,5 | 78,9 | ÷ | 84,0 | 7,92 | 140 | 75,4 | ÷ | 83,8 | 3,71 | 124 | 74,3 | ÷ | 75,5 | 15,08 | 140 | 67,8 | ÷ | 85,3 | 13,52 | 124 | 75,6 | ÷ | 87,3 | ÷ | 95,7 | 72,9 | 85,3 | 13,52 | 124 | 75,6 | | | | |
| C | 85,0 | 82,1 | 87,5 | 80,5 | ÷ | 83,8 | 3,71 | 124 | 74,3 | ÷ | 75,5 | 15,08 | 140 | 67,8 | ÷ | 85,3 | 13,52 | 124 | 75,6 | ÷ | 87,3 | ÷ | 95,7 | 72,9 | 85,3 | 13,52 | 124 | 75,6 | ÷ | 87,3 | ÷ | 95,7 | 72,9 | 85,3 | 13,52 | 124 | 75,6 |
| D | ÷ | 73,5 | 65,2 | 87,7 | ÷ | 85,3 | 13,52 | 124 | 75,6 | ÷ | 87,3 | ÷ | 95,7 | 72,9 | 85,3 | 13,52 | 124 | 75,6 | ÷ | 87,3 | ÷ | 95,7 | 72,9 | 85,3 | 13,52 | 124 | 75,6 | ÷ | 87,3 | ÷ | 95,7 | 72,9 | 85,3 | 13,52 | 124 | 75,6 | |
| E | ÷ | 87,3 | ÷ | 95,7 | 72,9 | 85,3 | 13,52 | 124 | 75,6 | ÷ | 87,3 | ÷ | 95,7 | 72,9 | 85,3 | 13,52 | 124 | 75,6 | ÷ | 87,3 | ÷ | 95,7 | 72,9 | 85,3 | 13,52 | 124 | 75,6 | ÷ | 87,3 | ÷ | 95,7 | 72,9 | 85,3 | 13,52 | 124 | 75,6 | |

Tabel 4.3. Huldækkenes betonstyrke.

4.2.2 FUGE BETON

Fugebetonen blev udført svarende til det i Betonelementforeningens "Anvisning i udstøbning af fuger - mellem dakelementer - mellem væglements" angivne, idet der dog blev tilsat calciumchlorid for at accelerere forøgene. Blandingsrecepten er vist i tabel 4.4.

| Recept for 80 l. fugebeton. | |
|-----------------------------|-----------|
| Cement, rapid | 28,8 kg |
| (Calciumchlorid (knust)) | 0,290 kg |
| 1% af cementvægt | 116,8 kg |
| Sand (0-4 mm) | ~ 17,5 kg |
| Vand | |

Tabel 4.4. Blandingsrecept for fugebetonen.







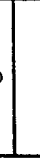

I tabel 4.5 er resultatet af trykstyrkeforsøg (cylindre, $d = 150$ mm, $h_{cyl} = 300$ mm) med fugebetonen anført.

| CYL.nr. | 1 | 2 | 3 | M. | V.K. |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------|
| Forsøg nr. | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | (N/mm ²) | g |
| 5 | 18,8 | 16,7 | 18,7 | 18,1 | 6,56 |
| 6 | 18,2 | 19,8 | 20,6 | 19,5 | 6,26 |
| 7 | 20,9 | 20,5 | 21,8 | 21,1 | 3,16 |

Tabel 4.5. Fugebetonens cylinderrykstyrke

4.3 BRUDBELASTNING

I tabel 4.6 er anført den kraft for hvilken brud indtraf i de otte forsøg.

| Forsøg nr. | Forsøg P _{br} | belastnings placering |
|------------|------------------------|---|
| 1 | 265 |  |
| 2 | 163 |  |
| 3 | 265 |  |
| 4 | 186 |  |
| 5 | 226 |  |
| 6 | 235 |  |
| 7A | 245 |  |
| 7B | 284 |  |

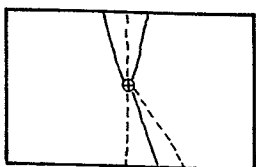
Tabel 4.6 Elementernes brudkraft.

4.4 BESKRIVELSE AF BRUDFORM

I det følgende gives en visuel beskrivelse af elementernes opførsel under selve forsøget samt brudformen.

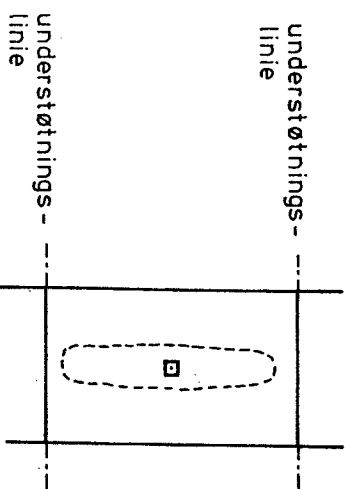
FORSØG NR. 1.

De første revner observeredes for $P = 235 \text{ kN}$. Revnerne indtil brud udviklede sig som vist i fig. 4.2. Brudformen var som vist i fig. 4.3. På langs gik bruddet næsten ud til understøtningene, medens det på tværs kun berørte de to nærmeste udspæringer. I fig. 4.4 er billede af bruddet vist.



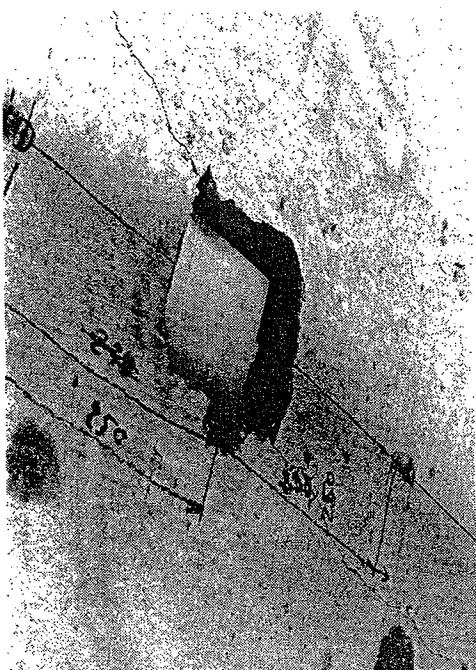
--- revner observeret ved lasttrin 235 kN
— extra revner observeret ved lasttrin 255 kN

Fig. 4.2 Revneudviklingen ved forsøg nr. 1.

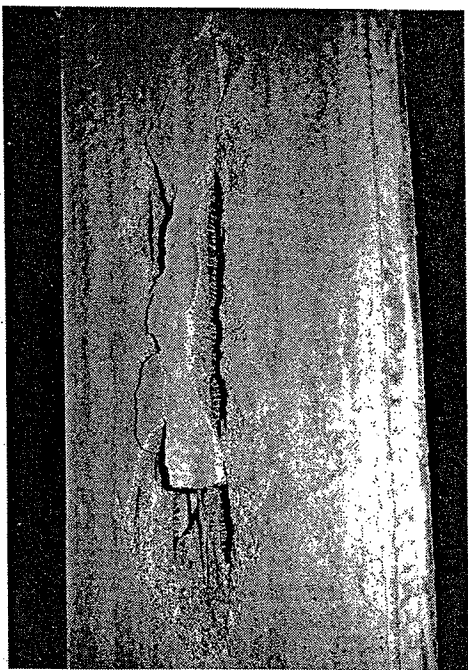


bruddets afgrænsning:
— på oversiden
--- på undersiden

Fig. 4.3 Brudformen ved forsøg nr. 1.



Oversiden af elementet efter brud.



Underside af elementet efter brud.

Fig. 4.4 Billede af brudformen ved forsøg nr. 1.

FORSØG NR. 2.

Bruddet kom pludseligt og uvarslet. Brudformen fremgår af fig. 4.5. På undersiden begrænses bruddet af understøtningerne og

udsparringen ved lasten. I fig. 4.6 er billeder af bruddet vist.

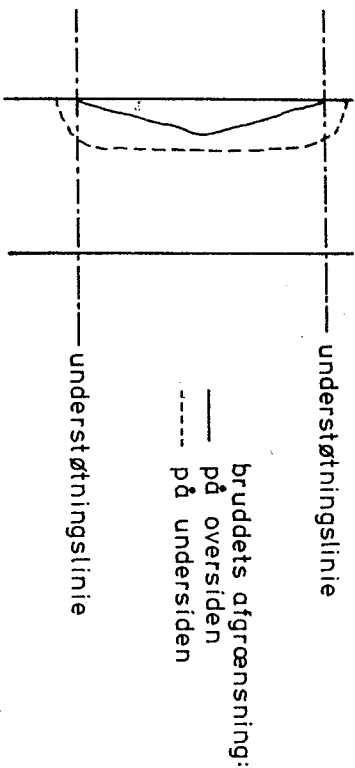
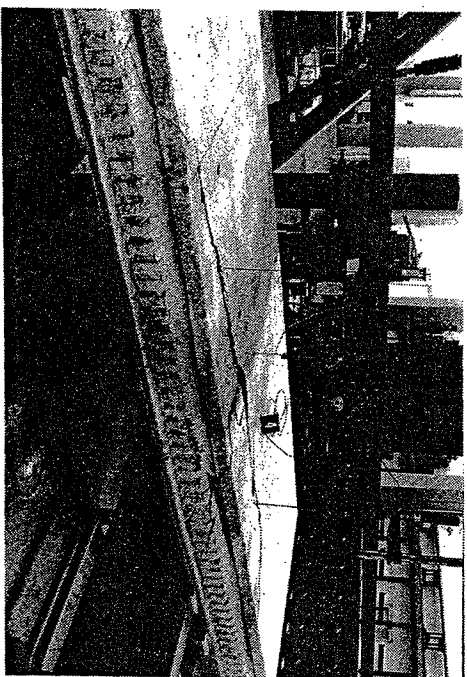


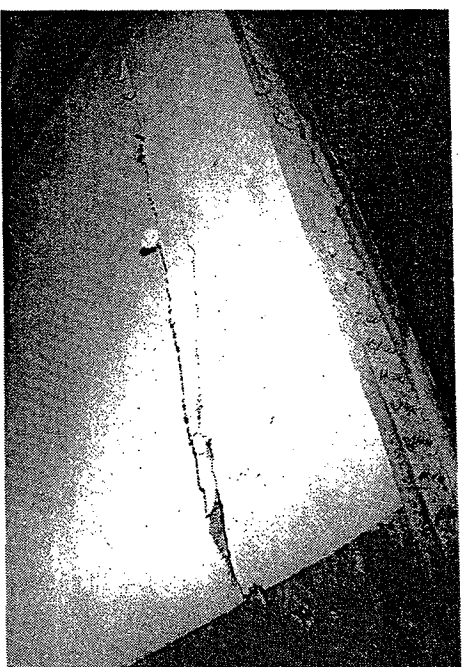
Fig. 4.5. Brudformen ved forsøg nr. 2.



Bruddet set ovenfra

Fig. 4.6. Billeder af bruddet ved forsøg nr. 2.

(fortsættes)



Bruddet set nedenfra.

Fig. 4.6. Billeder af bruddet ved forsøg nr. 2.

FORSØG NR. 3,

Revueudviklingen, som startede ved 235 kN, fremgår af fig. 4.7. Brudformen er vist i fig. 4.8. Som det fremgår af fig. 4.8 trykkes et stort stykke under lasten ud, medens resten af elementet revnede på langs. Bruddet berørte i midterfaget kun området med de to nærmeste udsparringer. I fig. 4.9 er billeder af bruddet vist.

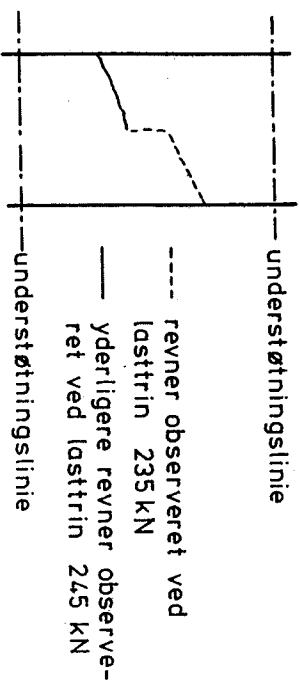


Fig. 4.7. Revneudviklingen ved forsøg nr. 3.

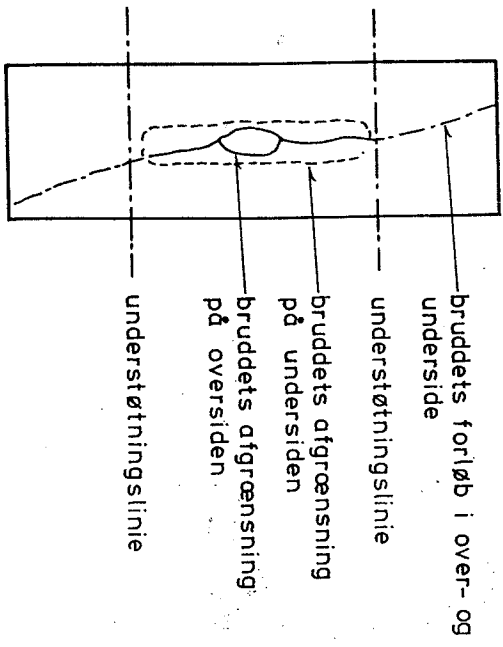
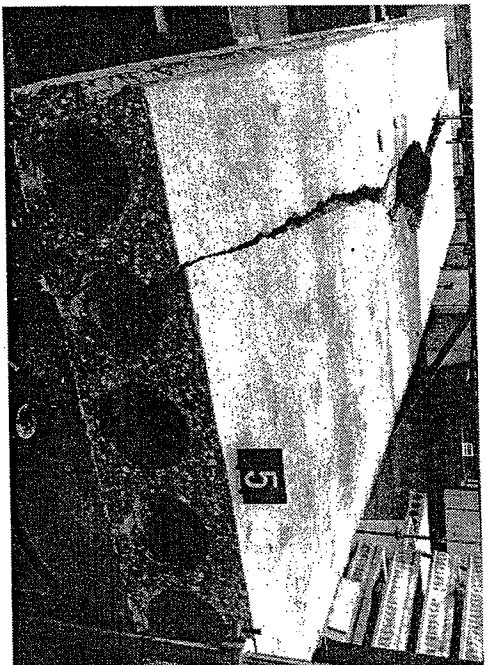


Fig. 4.8. Brudform ved forsøg nr. 3.



Bruddet set ovenfra



Bruddet set nedenfra

Fig. 4.9. Billeder af bruddet ved forsøg nr. 3.

FORSØG NR. 4.

Bruddet ved forsøg nr. 4 lignede fuldstændigt bruddet i forsøg nr. 2.

FORSØG NR. 5.

Bruddet kom uvarslet. Brudformen fremgår af fig. 4.10. Bruddet berørte kun det belastede element og her kun området fra fugen og til udsparringen til højre for lasten. I fig. 4.11 er billeder af bruddet vist.

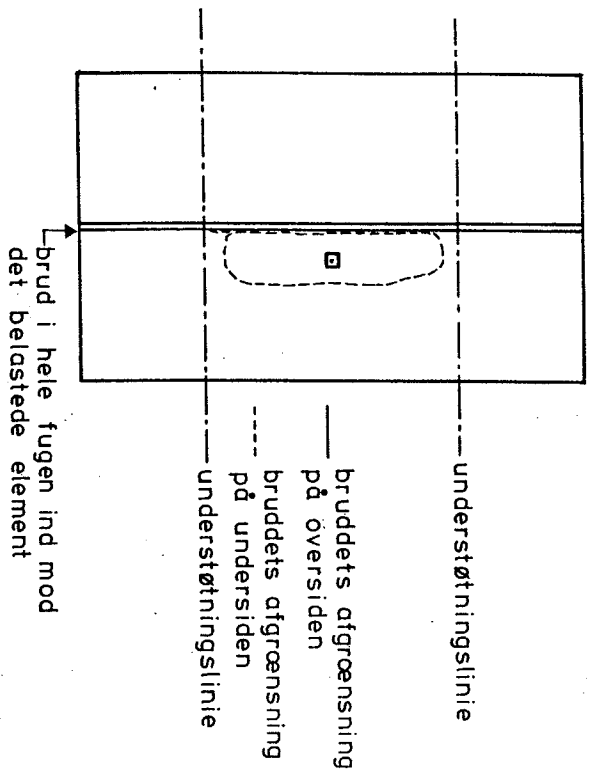
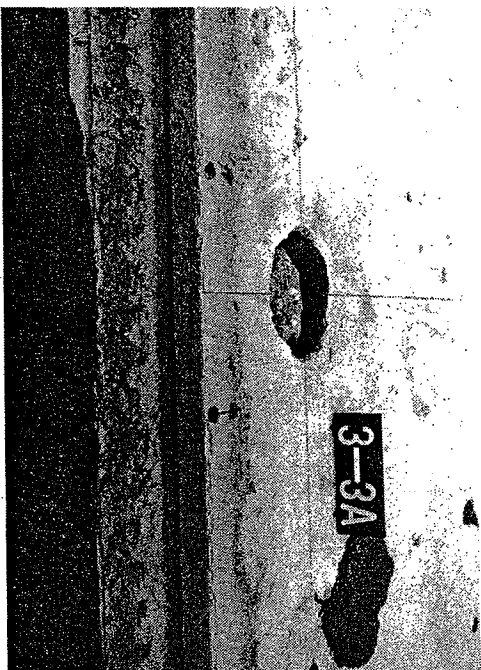


Fig. 4.10. Brudform ved forsøg nr. 5.



Bruddet set ovenfra.



Bruddet set nedenfra.

Fig. 4.11. Billeder af bruddet ved forsøg nr. 5.

FORSØG NR. 6,

Ved Lasten 196 kN revnede fugen i hele sin længde i elementets underside. Bruddet, som er vist i fig. 4.12 indtraf uvarslet. Bruddet indvolderede kun de belastede ribber. Billeder af bruddet er vist i fig. 4.13.

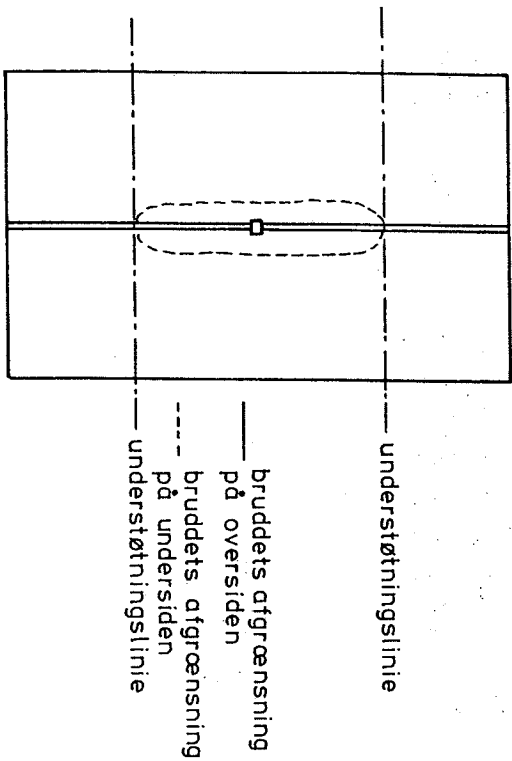
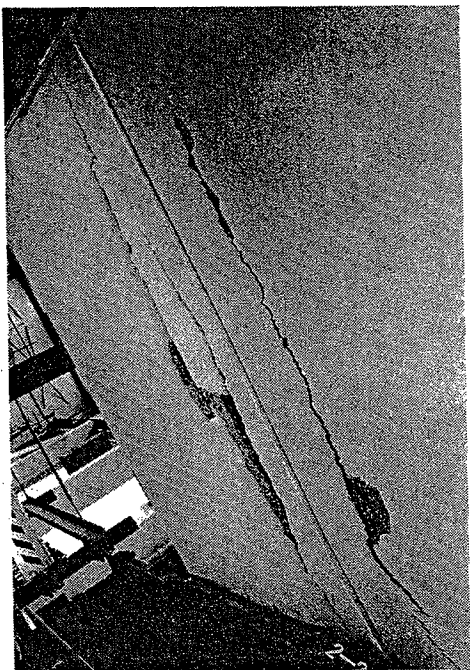
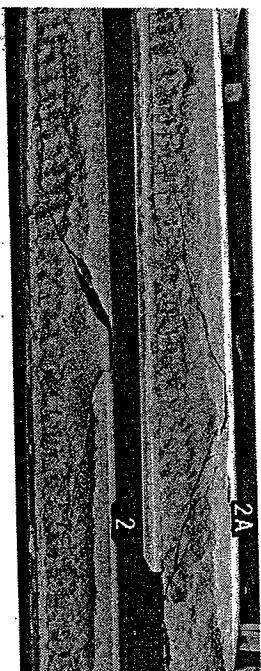


Fig. 4.12. Brudformen ved forsøg nr. 6.



Bruddet set nedenfra.



Bruddet set i snit ved fugen.

Fig. 4.13. Billeder af bruddet ved forsøg nr. 6.

FORSØG NR. 7A OG 7B.

Af fig. 4.14 ses brudformen i begge tilfælde af stemme overens med forsøg nr. 1, hvilket også gælder revnedannelsen.

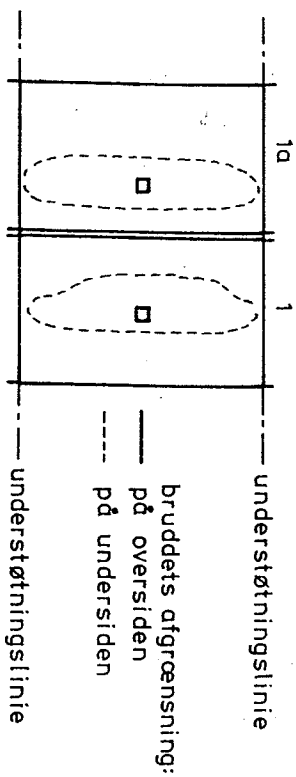


Fig. 4.14. Bruddet ved forsøg nr. 7A og 7B.

5. BEREGNINGSMETODER

5.1. GENNEMLOKNINGSBRUD

Følgende beregningsmetode forudsætter lasten placeret således, at brudfladerne ikke berøres af randene. Det ved gennemlokningsbruddet udpresede betonlegeme vil derfor have en lodret translation i forhold til det vandrette pladefelt, se fig. 5.1.

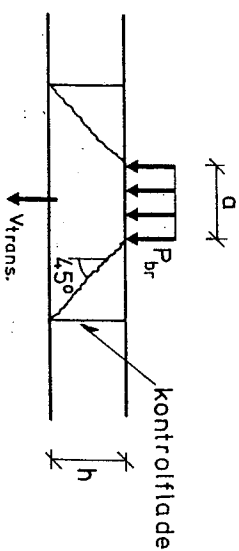


Fig. 5.1. Gennemlokningsbrud i plade uden udsparringer.

For en plade uden udsparringer lyder DS 411's beregningsmetode, idet lasten forudsættes angrubende over det kvadratiske areals tyngdepunkt,

$$P_{br} = 4(a + 2 h_a) h \sigma_c \quad (5.1)$$

Som en tilnærmelse sættes her $h_a \approx h$, således at (5.1) ændres til

$$P_{br} = 4(a + 2 h) h \sigma_c \quad (5.2)$$

DS 411's beregningsmetode kan beskrives således. Brudlinjerne regnes at udgå fra kraftens randlinjer med hældningen 45° i forhold til lodret. I de linjer, hvor brudlinjerne skærer pladens underside, indlægges et lodret kontrolsnit, i hvilket det checkes, at forskydningspændingerne ikke overskrider betonens trækstyrke.

I en plade med udsparringer søges ovenfor beskrivne beregningsprincip også anvendt, det vil sige at brudlinjerne regnes gående ud fra kraftens randlinjer med hældningen 45° . Det bemærkes, at denne hældning kun gælder, hvor der er beton, det vil sige går en brudlinje gennem en udsparring som vist i fig. 5.2 fortsættes brudlinjen lodret under punktet hvor brudlinjen kom ind i udsparringen. Hermed fås umiddelbart at afstanden mellem kontrolfladerne

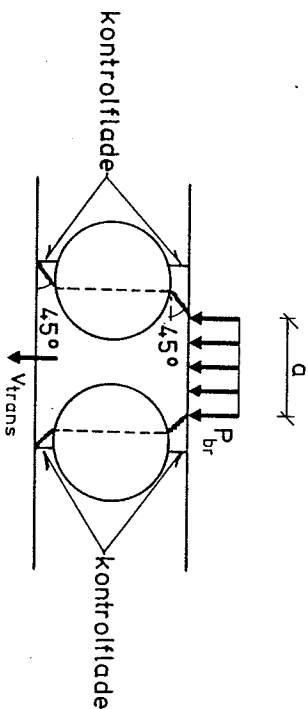


Fig. 5.2. Brudlinjerne parallel med udsparringernes længdeakse.

derne parallel med udsparringerne på den sikre side kan sættes til $(a+2(h-d_{cyl}))$.

Beregningen af kontrolfladernes placering vinkelret på udsparringernes længdeakse kompliceres af, at forholdene her egentlig er en kombination af de i henholdsvis fig. 5.1 og fig. 5.2 viste. Det synes dog rimeligt at antage at ribberne vil være styrende for brudlinjernes hældning, således at afstanden mellem kontrolfladerne tilnærmelsesvis kan sættes til $(a+2h)$.

Regnes den effektive højde af kontrolfladerne på den sikre side for værende $(h-d_{cyl})$, fås således følgende udtryk til bestem-

melse af P_{br}

$$P_{br} = 4 \left(a+2h-d_{cyl} \right) \left(h-d_{cyl} \right) \sigma_c \quad (5.3)$$

Udtrykket (5.3) forudsætter at bruddet ikke involverer randene. Desværre vidnes der endnu meget lidt om brudforholdene når kraften er placeret nær en rand. Disse forhold har det ikke været muligt at undersøge nærmere inden for rammerne af dette projekt.

5.2. BØJNINGSRUD

Huldækelementet i fig. 5.3 betragtes. Udsparringerne regnes beliggende i x-aksens retning. Elementet regnes kun for værende armeret efter x-aksen.

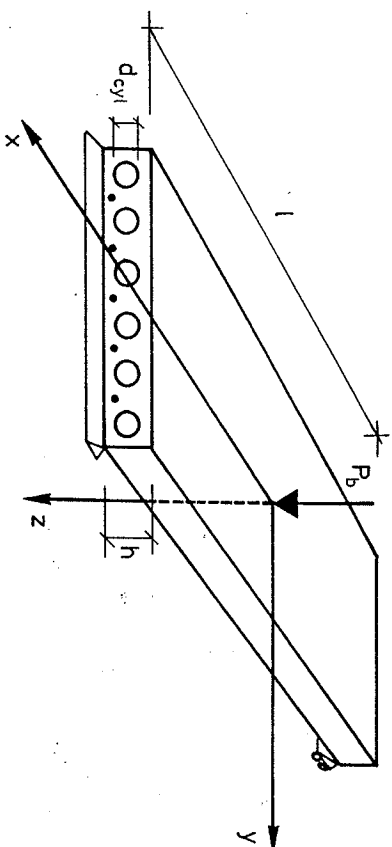


Fig. 5.3. Huldækelement.

Betonen regnes ideal-plastisk med henholdsvis trykflyde-spændingen $v\sigma_c$ og trækflyde-spændingen $\rho\sigma_c$.

Pladeelementets flydemomenter betegnes m'_{fx} , m'_{fy} og $m'_{fy} = m'_{fy}$, idet m'_f er det positive flydemoment, og m'_f er det negative flydemoment.

Pladeelementets bøjningsbærevne forsøges bestemt ved hjælp af brudlinieteorien. Da $m'_{fx} + m'_{fy}$ kan K.W. Johansens [77.1] plade-formler ikke umiddelbart benyttes. En beregning med ovenstående flydemomenter er ikke alene kompliceret, men vil formodentlig også føre til store beregningsudtryk, hvorfor det synes rimeligt at simplificere problemet. Armeringens indflydelse på bærevnen vil således her blive negligeret, da den formodentlig kun øger bærevnen i mindre omfang. At dette synes rimeligt, bekræftes blandt andet af de forsøgmæssige brudformer vist i afsnit 4, hvorefter det ses, at bruddene kun involverer armeringen beliggende i kroppen lige under kraften, det vil sige for disse forsøg 1 linie. Hermed haves $m'_{fx} = m'_{fy}$ hvorved K.W. Johansen's [77.1] pladeformler direkte kan anvendes.

I det følgende bestemmes m'_{fx} og m'_{fy} .

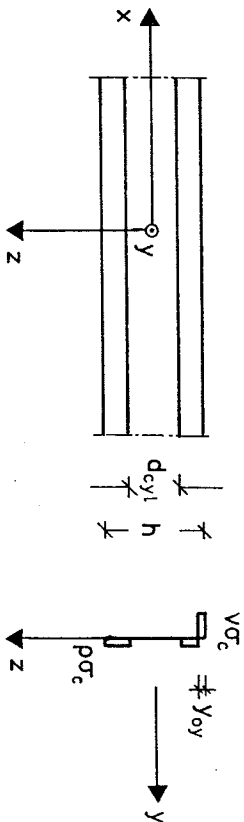


Fig. 5.4. Pladens optagelse af m'_{fy}

Længdeliggvægt i et snit vinkelret på y-aksen kræver, se fig. 5.4.

$$Y_{oy} v\sigma_c = \rho\sigma_c (h - d_{cyl} - Y_{oy}) \quad (5.4)$$

som løst med hensyn til Y_{oy} fører til

$$Y_{oy} = \frac{\rho}{\rho + v} (h - d_{cyl}) \quad (5.5)$$

Momentliggvægt kræver, idet det naturligtvis forudsættes, at $Y_{oy} \leq \frac{1}{2} (h - d_{cyl})$

$$m'_{fy} = \frac{1}{2} \rho \sigma_c Y_{oy} (h - Y_{oy}) \quad (v + \rho) \quad (5.6)$$

Dette udtryk kan ved hjælp af (5.5) omformes til

$$m'_{fy} = \frac{1}{2} \rho \sigma_c \frac{\rho}{\rho + v} (h - d_{cyl}) (v h + \rho d_{cyl}) \quad (5.7)$$

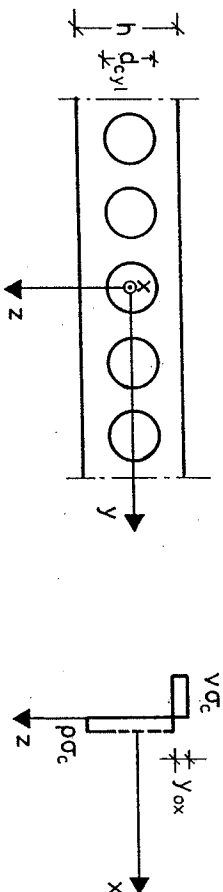


Fig. 5.5. Pladens optagelse af m'_{fx}

Længdeliggvægt i et snit vinkelret på x-aksen kræver, se fig. 5.5.

$$v\sigma_c Y_{ox} = \rho\sigma_c \left(h - Y_{ox} - \frac{\pi}{4} \frac{d_{cyl}^2}{b} \right) \quad (5.8)$$

som løst med hensyn til Y_{ox} fører til

$$Y_{ox} = \frac{\rho}{\rho + \nu} \left(h - \frac{\pi}{4} \frac{d}{b} \frac{cyl^2}{d} \right) \quad (5.9)$$

Momentligevægt kræver, idet det forudsættes, at $Y_{ox} < \frac{1}{2} (h - d_{cyl})$

$$m_{fx} = \frac{1}{2} \sigma_c Y_{ox} (h - Y_{ox}) (\nu + \rho) \quad (5.10)$$

som ved hjælp af (5.9) fører til

$$m_{fx} = \frac{1}{2} \sigma_c \frac{\rho}{\rho + \nu} \left(h - \frac{\pi}{4} \frac{d}{b} \frac{cyl^2}{d} \right) \left(\nu h + \rho \frac{\pi}{4} \frac{d}{b} \frac{cyl^2}{d} \right) \quad (5.11)$$

Idet μ er defineret ved $\mu = \frac{m_{fy}}{m_{fx}}$ fås

$$\mu = \frac{\left(h - d_{cyl} \right) \left(\nu h + \rho d_{cyl} \right)}{\left(h - \frac{\pi}{4} \frac{d}{b} \frac{cyl^2}{d} \right) \left(\nu h + \rho \frac{\pi}{4} \frac{d}{b} \frac{cyl^2}{d} \right)} \quad (5.12)$$

Af K.W. Johansens [77.1] pladeformler fås, når kraften er placeret således, at brudlinjerne ikke vil skære en fri rand, bøjningsbæreevnen

$$P_{br} = 4\pi \sqrt{U} m_{fx} \quad (5.13)$$

Er kraften placeret nær en rand, det vil sige brudlinjerne vil skære randen, fås bøjningsbæreevnen

$$P_{br} = 2\sqrt{U} m_{fx} \left(2(\nu + \frac{\pi}{4} \cos \nu) + \cos \nu \left(\sqrt{1 + \sin^2 \nu} + \sin \nu \right) \right) \quad (5.14)$$

Idet vinklen ν bestemmes som vist i fig. 5.6.

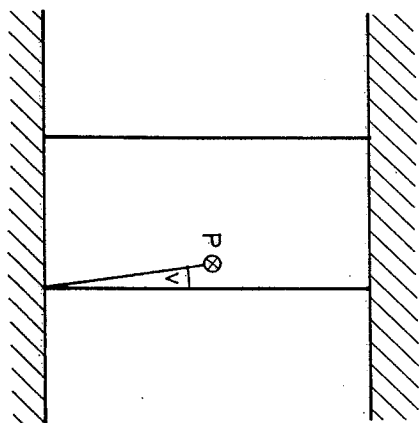


Fig. 5.6. Bestemmelse af vinklen ν .

Ved bestemmelsen af effektivitetsfaktoren ν , forsøges udtrykkene angivet i M.P. Nielsen et. al. [83.1] anvendt som en tilnærmelse. Desværre er vor viden om ρ meget mangelfuld. Det forsøges om $\rho = \nu \frac{\sigma_t}{\sigma_c}$ giver brugbare løsninger.

5.3. TEORI VURDERET VED FORSØG

I tabel 5.1 er resultaterne af en beregning efter udtrykkene i de foregående afsnit vist. Til bestemmelse af ν er følgende udtryk anvendt

$$\nu = 0,85 - \frac{\sigma_c}{300} \quad (5.15)$$

Betonnens trækstyrke er bestemt som $\sigma_t = \sqrt{\sigma_c/10}$ (σ_c og σ_t i MPa).
 Som det fremgår af tabel 5.1, ses den simplificerede beregningsmodel at give resultater der ligger noget på den sikre side, dette gælder især når kraften er placeret nær en rand. Betragtes de forudsætninger der er gjort vedrørende beregningsmodellen synes overensstemmelsen mellem teori og forsøg dog at være rimelig.

| Forsøg nr. | σ_c | fugebeton σ_c | P_{br} forsøg | v_{ber} | ρ_{ber} | gennemloknings-teori P_{br} | bøjnings-teori P_{br} | teori $P_{br, min.}$ | P_{br} forsøg / $P_{br, min.}$ teori |
|------------|-------------------|----------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------------|--|
| | N/mm ² | N/mm ² | kN | | | kN | kN | kN | |
| 1 | 67,8 | | 265 | 0,624 | 0,024 | 271 | 198 | 198 | 1,34 |
| 2 | 67,8 | | 163 | 0,624 | 0,024 | 271 | 101 | 101 | 1,62 |
| 3 | 75,6 | | 265 | 0,598 | 0,022 | 286 | 201 | 201 | 1,32 |
| 4 | 75,6 | | 186 | 0,598 | 0,022 | 286 | 102 | 102 | 1,82 |
| 5 | 74,3 | 18,1 | 226 | 0,602 * 0,790 | 0,022 * 0,059 | 284 * 140 | 201 * 128 | 201 * 128 | 1,13 1,77 * |
| 6 | 75,4 | 19,5 | 235 | 0,599 * 0,785 | 0,022 * 0,056 | 286 * 145 | 201 * 132 | 201 * 132 | 1,17 1,78 * |
| 7a | 77,8 | 21,1 | 245 | 0,591 | 0,021 | 291 | 201 | 201 | 1,22 |
| 7b | 77,8 | 21,1 | 284 | 0,591 | 0,021 | 291 | 201 | 201 | 1,41 |

* Værdien gælder fugebetonen,

Tabel 5.1. Teoretisk beregnede bæreevner.

6. KONKLUSION

Forsøgene viser, som det var at vente, at gennemlokningsstyrken af huldekkelementer, er afhængig af kraftens afstand til randene. En kraft nær eller på randen giver væsentlig mindre bæreevne end en kraft inde på et pladefelt. To sammenstøbte elementer hvor sideværts bevægelser var hindret ved hjælp af en stålramme gav stort set samme bæreevne som et enkelt element med kraftpåvirking inde i feltet. I et enkelt forsøg angreb kraften lige over fugen mellem de to elementer. Fugen reducerede ikke bæreevnen væsentligt.

Den tilnærmede teoretiske behandling er for gennemlokningsstyrkens vedkommende foretaget ved hjælp af reglerne i DS 411. For bøjningsbruddets vedkommende er den foretaget ved hjælp af brudlineteorien, idet bøjningsbæreevnen i et snit er beregnet under medvirkning af betonens (stærkt reducerede) trækstyrke.

Som det fremgår af afsnit 5 synes beregningsmodellen i forhold til forudsætningerne at forudsige styrken rimeligt godt. Det bemærkes at ved disse forsøg var armeringens forankring sikret. Denne forudsætning kan ikke i alle situationer regnes at være opfyldt, hvilket der er taget højde for i den her anvendte beregningsmodel. Iøvrigt bemærkes, at hvis kraften angriber over eller tæt ved en fuge, og styrkedifferensen mellem fugebetonen og huldekkenes beton er stor, bør beregningerne ikke alene baseres på den lave betonstyrke, men eventuelt på et vægtet gennemsnit mellem de to betonstyrker.

Sammenlignes brudformen efter teorien med de forsøgs-mæssige brud-former ses disse ikke at stemme overens. Betragtes de forsøgs-mæssige brud, synes disse at være en kombination af et bøjningsbrud og et gennemlokningsbrud. Det har ikke været muligt indenfor den tidsmæssige og økonomiske ramme for dette projekt at opstille et beregningsudtryk der afspejler brudformen mere korrekt.

LITTERATUR

- [73.1] DS 411, 2. udgave, Dec. 1973.
- [77.1] K.W. Johansen:
Pladeformler.
Polyteknisk Forlag, 3 udgave, 2. oplag, Lyngby 1977.
- [78.1] U. Hess, B. Chr. Jensen, M.W. Bræstrup, M.P. Nielsen og F. Bach:
Gennemlokning af jernbetonplader.
Rapport nr. R 90, Afdelingen for Bærende Konstruktioner, Danmarks Tekniske Højskole, Lyngby 1978.
- [83.1] M.P. Nielsen og B. Feddersen:
Effektivitetstaktoren ved bøjning af jernbetonbjælker.
Rapport nr. R 173, Afdelingen for Bærende Konstruktioner, Danmarks Tekniske Højskole, Lyngby 1983.

AFDELINGEN FOR BÆRENDE KONSTRUKTIONER
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

Department of Structural Engineering
Technical University of Denmark, DK-2800 Lyngby

SERIE R
(Tidligere: Rapporter)

- R 132. BRINCKER, RUNE: Plane revneudbredelsesproblemer i li-
neært viscoelastiske materialer. Revnemodeller og udbre-
delseskriterier. 1983.
- R 133. Reserveret.
- R 134. ABR'S informationsdag 1981. 1981.
- R 135. Resuméoversigt 1980. Summaries of Papers 1980. 1981.
- R 136. BACH, FINN og M.P. NIELSEN: Nedreværdiløsninger for
jernbetonplader. 1981.
- R 137. Publication pending.
- R 138. NIELSEN, LEIF OTTO og PETER NITTEGAARD-NIELSEN: Element-
metodeberegninger på mikrodatabat. 1981.
- R 139. MONDORF, P.E.: Concrete Bridges. Literature Index.
1981.
- R 140. NIELSEN, METTE THIEL: Lamb's Problem. Internal Harmonic
Point Load in a Half-Space. 1981.
- R 141. JENSEN, JESPER FRØBERT: Plasticitetsteoretiske løsninger
for skiver og bjælker af jernbeton. 1982.
- R 142. MÖLLMANN, H.: Thin-Walled Elastic Beams with Finite
Displacements. 1981.
- R 143. KRAGERUP, JAN: Five Notes on Plate Buckling. 1982.
- R 144. NIELSEN, LEIF OTTO: Konstitutiv modelivering af frik-
tionsdæmpning. 1982.
- R 145. NIELSEN, LEIF OTTO: Materiale med friktion til numeriske
beregninger. 1982.
- R 146. Resuméoversigt 1981. Summary of Papers 1981. 1982.
- R 147. AGERSKOV, H. and J. BJØRNBAK-HANSEN: Bolted End Plate
Connections in Round Bar Steel Structures. 1982.
- R 148. NIELSEN, LEIF OTTO: Svingninger med friktionsdæmpning.
1982.
- R 149. PEDDERSEN, CARL: Stability Properties and Non-Linear
Behaviour of Thin-Walled Elastic Beams of Open Cross-
Section. Part 1: Basic Analysis. 1982.
- R 150. PEDDERSEN, CARL: Stability Properties and Non-Linear
Behaviour of Thin-Walled Elastic Beams of Open Cross-
Section. Part 2: Numerical Examples. 1982.
- R 151. KRÄNCHHEL, HERBERT and HANS WINDBERG JENSEN: Organic
Reinforcing Fibres for Cement and Concrete. 1982.
- R 152. THIEL, METTE: Dynamic Interaction between Soil and Foun-
dation. 1982.
- R 153. THIEL, METTE: Soil-Pile Interaction in Horizontal Vibra-
tion. 1982.
- R 154. RIBERHOLT, H. og PER GOLTERMANN: Sømmede træbjælker.
1982.
- R 155. JENSEN, JENS HENNING: Forkammede armeringsstængers for-
ankring, specielt ved vederlag. 1. del. 1982.
- R 156. JENSEN, JENS HENNING: Forkammede armeringsstængers for-
ankring, specielt ved vederlag. 2. del. Appendix A til
F. 1982.
- R 157. ARPE, ROBERT and CLAES DYRBYE: Elasto-Plastic Response
to Stochastic Earthquakes. 1983.
- R 158. WALD, FRANZISEK: Non-Linear Analysis of Steel Frames
(With Special Consideration of Deflection). 1983.
- R 159. BRÆSTRUP, MIKAEL W.: Ten Lectures on Concrete Plasticity.
Course given in Nanjing, China, October 1982. 1983.
- R 160. PEDDERSEN, BENT og M.P. NIELSEN: Opøjet spændarmering
som forskydningsarmering. 1983.
- R 161. KRAGERUP, JAN: Buckling of Rectangular Unstiffened Steel
Plates in Compression. 1983.
- R 162. PEDDERSEN, BENT og M.P. NIELSEN: Revneteorier for enk-
sede spændingstilstande. 1983.
- R 163. PEDDERSEN, B. og M.P. NIELSEN: Revneteorier for biaksiale
spændingstilstande. 1983.
- R 164. GIMSING, NIELS J.: Preliminary Design and Optimization
of Cable Systems for Bridges. 1983.
- R 165. Resuméoversigt 1982. Summaries of Papers 1982. 1983.
- R 166. NITTEGAARD-NIELSEN, PETER, JOHN FORBES OLSEN og HILMER
RIBERHOLT: Elementmetodeberegning af skiveafstivede la-
melkonstruktioner. 1983.
- R 167. RIBERHOLT, HILMER og PETER SPØER: Indlignede bolte til
indfæstning af vingerne på Nibemølle-B. 1983.
- R 168. GIMSING, NIELS J. and ANDERS BORREGAARD SØRENSEN: Inve-
stigations into the Possibilities of Constructing Bridges
with a Free Span of 3000 m. 1983.
- R 169. NIELSEN, LEIF OTTO: Randedementmetoden til 3-dimensionel
spændingsanalyse. 1983.
- R 170. NIELSEN, JOHN SANDER: A Theoretical and Experimental
Study of Concrete Beams - Especially Over-Reinforced
Beams - Subjected to Torsion. Part I. Theory. 1983.
- R 171. NIELSEN, JOHN SANDER: A Theoretical and Experimental
Study of Concrete Beams - Especially Over-Reinforced
Beams - Subjected to Torsion. Part II. Experiments.
1983.
- R 172. LANGSØ, H.E. og V. ASKEGAARD: Sammenhang mellem frost-
nedbrydning af jernbetonbjælker og ændring af frekvens-
spektrum, dæmpningsforhold og bæreevne. 1983.
- R 173. R 174. Reserveret. Publication pending.
- R 175. EXNER, HANS: Plasticitetsteori for Coulomb Materialer.
1983.
- R 176. EXNER, HANS: Betonbjælkens Bøjningsbæreevne. 1983.
- R 177. AGERSKOV, H. and J. BJØRNBAK-HANSEN: Optimum Design of
Corner-Supported Double-Layer Space Trusses. 1983.
- R 178. BJØRNBAK-HANSEN og H. AGERSKOV: Udmattelsesforsøg med
Ortotrop Brodæpanel. 1983.
- R 179. KRISTIANSEN, NIELS ØRSKOV: Tryk- og Strømningsforhold i
Siloer med Kohæsive Medier. 1984.
- R 180. NIELSEN, JOHN SANDER: The Effect of Stirrup Spacing on
the Ultimate Load of Reinforced Concrete Beams Subjected
to Pure Torsion. 1984.
- R 181. KERN, JENS CHR.: Numerisk Brudstadieregning af Stift,
Plastiske Materialer. 1984.
- R 182. PEDDERSEN, B., U. HESS, H. EXNER og M.P. NIELSEN: Gen-
nemlokning af Huldakelementer.

Hvis De ikke allerede modtager Afdelingens resumeoversigt ved udgivelsen, kan Afdelingen tilbyde at tilsende neste års resumeoversigt, når den udgives, dersom De udfylder og returnerer nedenstående kupon.

Returneres til
Afdelingen for Bærende Konstruktioner
Danmarks tekniske Højskole
Bygning 118
2800 Lyngby

Fremtidig tilsendelse af resumeoversigter udbedes af
(bedes udfyldt med blokbogstaver):

Stilling og navn:
Adresse:
Postnr. og -distrikt:

The Department has pleasure in offering to send you a next year's list of summaries, free of charge. If you do not already receive it upon publication, kindly complete and return the coupon below.

To be returned to:
Department of Structural Engineering
Technical University of Denmark
Building 118
DK-2800 Lyngby, Denmark.

The undersigned wishes to receive the Department's
List of Summaries:
(Please complete in block letters)

Title and name
Address.....
Postal No. and district.....
Country.....