



Forankring af Svejste Armeringsnet af Gruppe II **Svejste Net af Ribbestål**

Kjems, Arne; Krenchel, Herbert

Publication date:
1979

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Kjems, A., & Krenchel, H. (1979). *Forankring af Svejste Armeringsnet af Gruppe II: Svejste Net af Ribbestål*. Danmarks Tekniske Højskole. Afdelingen for Bærende Konstruktioner, ABK-IR No. 64

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

AFDELINGEN FOR
BÆRENDE KONSTRUKTIONER
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE



STRUCTURAL RESEARCH LABORATORY
TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK

Arne Kjems og Herbert Krønhel
FORANKRING AF SVEJSTE ARMERINGSNET
AF GRUPPE II
SVEJSTE NET AF RIBBESTÅL

Teknologirådssag: 43.107-76.301. ABK-sag 33/77.

INTERN RAPPORT NR. I 64 1979

AFDELINGEN FOR
BÆRENDE KONSTRUKTIONER
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE



STRUCTURAL RESEARCH LABORATORY
TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK

Arne Kjems og Herbert Krenchel
FORANKRING AF SVEJSTE ARMERINGSNET
AF GRUPPE II
SVEJSTE NET AF RIBBESTÅL

Teknologirådssag: 43.107-76.301. ABK-sag 33/77.

INTERN RAPPORT NR. I 64 1979

SYNOPSIS

Projektets formål er gennem en række fuldskalaforsøg med enkeltspændte betonplader, at skaffe et grundlag for fastsættelse af nye regler for stød- og forankringslængder af svejste armeringsnet af gruppe II, dvs armeringsnet af ribbestål.

Pladerne belastes i en firepunktsbøjepstilling, således at prøvestrækningen -, der foruden strækninger med to armeringsnet består af et overlappingsstød mellem de to net -, er påført et konstant moment.

Belastningen, som forårsager brud i pladen, påføres:

enten statisk, som et jævnt voksende moment i løbet af 1-2 timer eller dynamisk, som en udmattelsespåvirkning med trinvis voksende intensitet igennem $1\frac{1}{2}$ - 18 døgn.

Ved forsøgene, der omfatter fem statiske og to dynamiske forsøgsserier med i alt 61 pladeformede prøvelegemer, varieres følgende primære parametre:

Diameter af længdejern,
Tværarmeringsgrad,
Stålkvalitet,
Styrke af svejsninger,
Udformning af stødsamling.

Betonkvaliteten er holdt uforandret, mens nedenstående sekundære parametre er varieret for at opnå en tilfredsstillende kraftoverføring gennem betonen fra det ene armeringsnet til det andet.

Stødsamlingens overlappingslængde,
Dæklagstykkelsen.

Forsøgsresultaterne viser, at det - indenfor visse grænser - er muligt at opnå fuld forankring med brud i armeringen udenfor stødzonen ved anvendelse af væsentligt kortere stødlængder end hvad, der foreskrives i henhold til den gældende betonnorm DS 411.

FORORD

Denne rapport omhandler en række forsøg udført ved Afdelingen for Bærende Konstruktioner af undertegnede i 1977 - 79 (ABK-sag 33/77), med støtte fra Teknologirådet, Broager Christensens Fond og Halmstadstål A/S.

Fastlæggelsen af forsøgsprogrammet er sket i samarbejde med følgende:

Civ.ing. J. E. Ahrensbach, P. E. Malmstrøm A/S

Civ.ing. Knud Bay, P. E. Malmstrøm A/S

Dir. Gösta Brolin, Halmstadstål A/S

Ing. J. Bryner, Halmstadstål A/S

Ing. J. Elmquist, Halmstadstål A/S

Yderligere har jeg modtaget megen hjælp fra flere af medarbejderne ved ABK. Jeg takker alle de involverede for meget positiv assistance og en gnidningsfri afvikling af nærværende projekt.

Lyngby, april 1979

Arne Kjems

INDHOLD	Side
SYNOPSIS	2
FORORD	3
A NOGLE DEFINITIONER	5
herunder figurer af stødsamlinger	6
B SYMBOLLISTE	12
C FORMÅL	15
D KRAV TIL FORSØGENE	16
E FORSØGSPROGRAM	17
F FORSØGSMETODIK	21
forsøgsopstilling	21
belastningsudstyr	23
belastningsprocedure og -historie	25
registrering under forsøg	31
G STATISKE FORSØG	33
pilotforsøg	33
statiske forsøg I	41
statiske forsøg II	48
statiske forsøg III	54
statiske forsøg IV	67
H DYNAMISKE FORSØG	73
dynamiske forsøg I	75
dynamiske forsøg II	86
I OVERSICHT OVER RESULTATER	90
J RESUME OG KONKLUSIONER	102
K LITTERATUR	109

Bilagene til nærværende rapport udgøres af de fire delrapporter, der løbende er udsendt. Disse rapporter, hvoraf Delrapport 4 indeholder forsøgenes fælles bilag, kan fås ved henvendelse til teknisk ass. Jørgen Kjep, ABK.

A) NOGLE DEFINITIONER

herunder figurer af stødsamlinger

Afskydningsstyrken (- kraften) P_a er forskydningsbrudstyrken (- kraften) af en trådkorssvejsning. Denne styrke (kraft) bestemmes - i dette projekt - ifølge den svenske prøvningsmetode SIS 21 91 80 [1] *.

En plades armering består dels af trækarmring omfattende to ens armeringsnet, som er stødt ved overlappning midt i pladens spænd, dels af nogle gennemgående trykjern **.

Ved trækarmring, der består af ét eller flere langsgående jern (længdejern) med hertil svejste eller bundne tværjern, skelnes - i nærværende projekt - mellem hovedarmring, som omfatter dels hovedjern (defineret som de(t) hårdest påvirkede længdejern i stødsamlingen) dels dets (disses) tværjern, og modholdsarmring, som omfatter hertil svarende længdejern - kaldet modholdsjern - med tværjern.

Trykjernene, som er anvendt primært for at måle deformationer i pladens trykzone sekundært for at give pladen styrke under transport og forsøg, fikseres korrekt ved hjælp af nogle tværjern. De største pladestrimler, - med Ø 20 mm trækarmring - har desuden nogle halve bøjler for at hindre trykjernene i at blive trykket ud gennem dæklagsbetonen.

En stødsamlings begyndelse er defineret som det sted, hvor hovedjernene er skåret over, dens slutning som det sted, hvor modholdsjernene er skåret over.

Stødzonen er den del af en plade, som findes mellem stødsamlingens begyndelse og slutning.

Stødlængden (overlappningslængden) l_s er længden af stødzonen.

I alle plader findes et målesnit, der er placeret umiddelbart udenfor stødsamlingens slutning. I dette snit måles (med strain-

* Henvisninger i kantet parentes refererer til litteraturfortegnelsen, afsnit K.

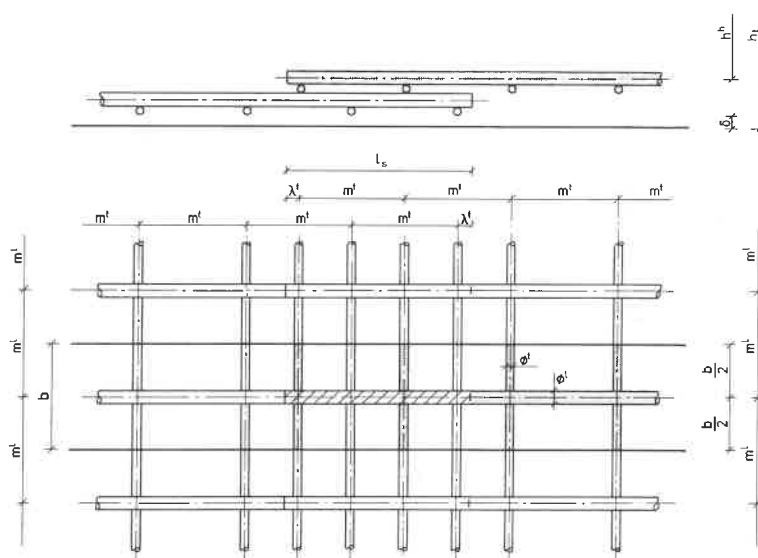
** I pilotforsøgsserien er trykarmering dog ikke anvendt.

gauges) hovedjernenes længdetøjning ϵ_a samt, når trykarmering er anvendt, også denne armerings længdetøjning ϵ'_a .

På figur A 1, A 2, A 3 og A 4 p 6 - 9 er tegnet de fire typer af stødsamlinger, som er testet i nærværende projekt, med angivelse af de parametre (- bortset fra (1) stålqualitet, (2) styrke af svejsninger og (3) betonqualitet -), der sædvanligvis kan varieres i plader med fabriksfremstillede svejste net. De symboler, der er anvendt på figurerne, er forklaret meget kort i afsnit B: SYMBOLLISTE.

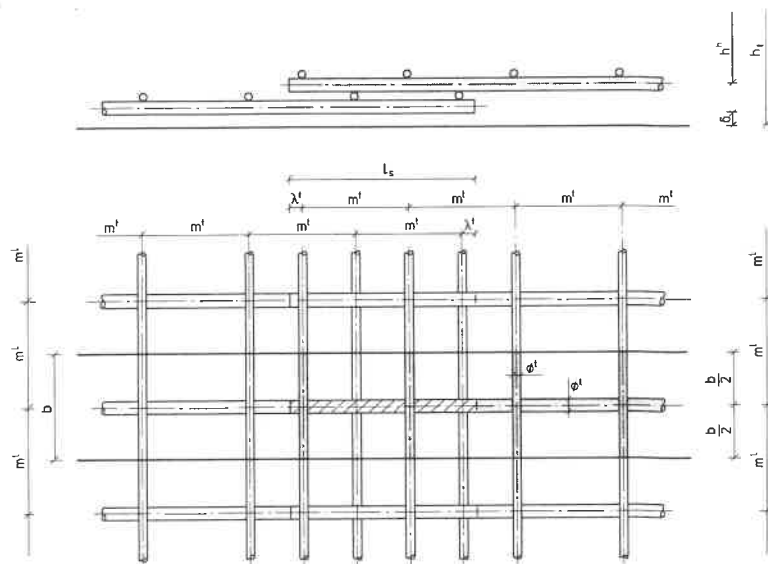
Figur A 1, Stødsamling type 1'

Testes kun i pilotforsøgsserien



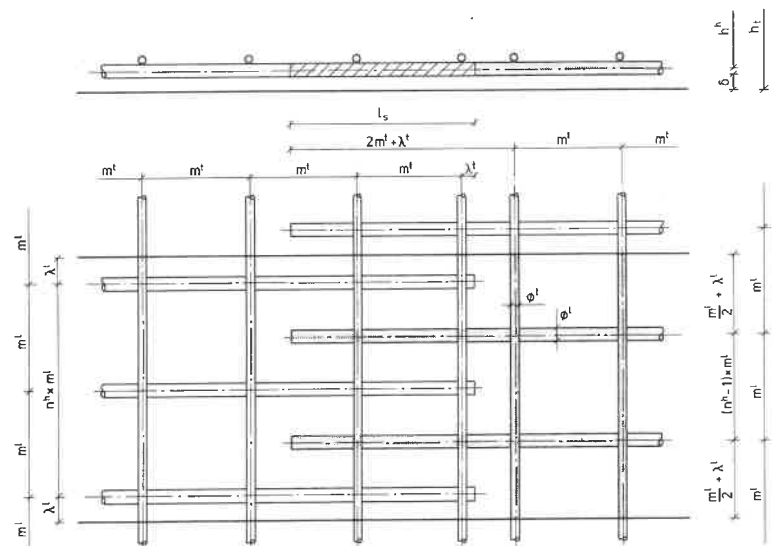
Figur A 2, Stødsamling type 1

Testes i pilotforsøgsserien og i statiske forsøg I



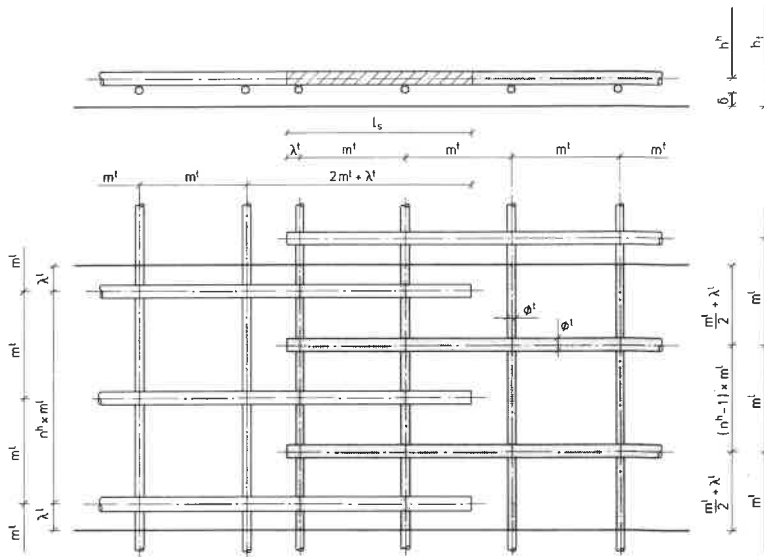
Figur A 3, Stødsamling type 2

Testes i alle forsøgsserier, undtagen i pilotforsøg.



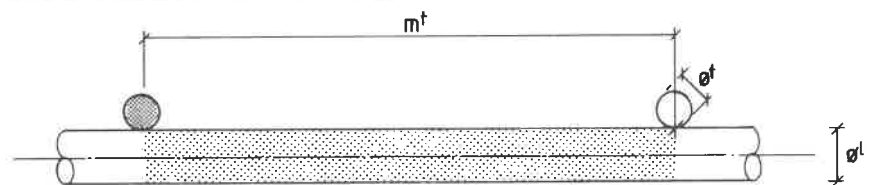
Figur A 4, Stødsamling type 3

Testes i alle forsøgsserier, undtagen i pilotforsøg



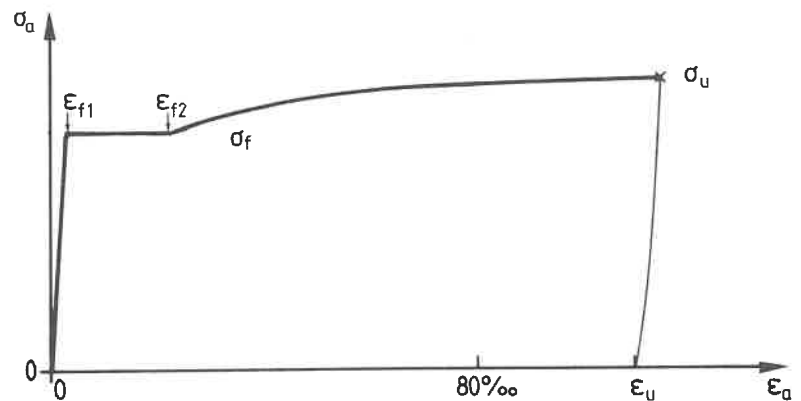
Længdearmerings tverrarmeringsgrad φ^t , som normalt angives i %, er defineret således, jf. figur A 5: $\varphi^t = \frac{A^t}{m^t \cdot \varnothing^l} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{(\varnothing^t)^2}{m^t \cdot \varnothing^l}$. ($\varphi^t = 1.4\%$ svarer til kravet (V 7.2.4.1) i DS 411 [4]).

Figur A 5, Tverrarmeringsgrad



Arbejdskurverne for de anvendte længdearmeringer har udseende som angivet på figur A 6. Det bemærkes, at brudtøjningen ϵ_u i nærværende sag er den jævnt fordelte tøjning målt efter brud udenfor indsnøringszonen.

Figur A 6, Arbejdskurve for armering

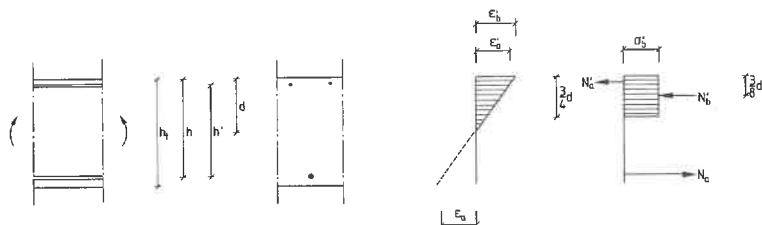


Et prøvelegemes regningsmæssige brudstyrke og brudlast, som i nærværende sag er henholdsvis prøvelegemets brudmoment M_u^r og den hertil hørende kraft i hver af de to presser P_u^r , beregnes under følgende forudsætning:

1. Prøvelegemerne har en tøjnings- og spændingsfordeling som skitseret på figur A 7.
2. Trækarmeringen er udnyttet til det fiktive punkt $(\epsilon, \sigma)_a$ på dens arbejdslinie, hvor tøjningen $\epsilon_a = 80\text{‰} < \epsilon_u$ (stålets jævnt fordelte tøjning efter brud) og spændingen $\sigma_a = \sigma_u$ (stålets brudstyrke), jf. figur A 6.
3. Betonens styrke i trykzonen er $\sigma_b' = 19 \text{ MPa}$.

Beregning af M_u^r og P_u^r samt en nøjere beskrivelse af disse findes i bilag 7: Prøvelegemers regningsmæssige brudstyrke.

Figur A 7, ϵ og σ fordeling i plader



De bøjeforsøg med pladefelter og pladestrimler, der er udført i nærværende projekt, er inddelt i syv forsøgsserier, som hver består af fra to til seks forsøg. Disse forsøg omfatter almindeligvis to eller tre enkeltforsøg, dvs. bøjeforsøg med to eller tre identiske prøvelegemer.

Fuld forankring af et armeringsnet er opnået, når brud i prøvelegemet skyldes enten indsnøring af hovedjernet (i de statiske forsøgsserier) eller udmattelsesbrud i selve hovedjernet (i de dynamiske forsøgsserier).

(B) SYMBOLLISTE

I nærværende rapport er der benyttet en række symboler, som alle er samlet i nedenstående oversigt. I tilknytning til hvert symbol er der en kortfattet forklaring af det samt en sideangivelse til, hvor det er benyttet første gang.

Symboler, som kun er benyttet i bilagsrapporten (2. DEL af Delrapport 4), er ikke medtaget i denne oversigt; men de er forklaret i de bilag, hvori de er anvendt.

I de fire delrapporter, som er udsendt i løbet af projektperioden, er der anvendt symboler, som i nogle tilfælde kan være lidt forskellige fra de nedennævnte, men det skulle fremgå af sammenhængen, hvad de betyder.

Generelt

n	antal	8
Δ	tilvækst	29

Statistik

—	middelværdi	37
V	variationskoefficient	35

Geometriske størrelser

a	længde af forskydningszone	21
b	bredde af prøvelegeme	6
d	nulliniedybde	11
h	nyttehøjde for trækarmring	6
h_t	pladetykkelse (total højde)	6
h'	centerafstand mellem tryk- og trækarmring	11
l	længde	21
l_s	overlappingslængde af net * (stødlængde)	5

* Defineret i afsnit A: NOGLE DEFINITIONER.

m	afstand mellem armeringsjern (maskevidde)	6
x_1	koordinatakse	21
A	tværsnitsareal af ét jern	10
\emptyset	diameter	6
δ	dæklagstykkelse	6
ϵ	tøjning	6
ϵ_u	(uden andre indices) armeringsståls jævnt fordelte tøjning, målt efter brud *	10
λ	længde af fri stangende	6
φ	armeringsgrad *	10

Fysiske størrelser

M	moment	11
N	normalkraft i tværsnit af en plade	11
P	ydre last	11
P_a	afskydningskraft af trådkorssvejsning *	5
Z	parameter for styrkeniveau ved udmattelsesbelastning (belastningsniveau)	74
σ	spænding	10
σ_f	armerings flydespænding *	10
σ_{ak}	karakteristisk armeringstrækstyrke iht. DS 411	93
σ'_{bk}	karakteristisk betontrykstyrke iht. DS 411	16
σ_{cyl}	trykstyrke af en eller flere betoncylindre	35

Øvre indices

f	enkeltforsøg(sresultat) *	33
h	hovedjern *	6

* Defineret i afsnit A: NOGLE DEFINITIONER.

l	længdejern *	6
m	modholdsjern *	35
r	regningsmæssig *	11
t	tværjern *	6
'	trykjern * (nb: geometrisk størrelse h')	6
'	betontrykzone (nb: geometrisk størrelse h')	11

Nedre indices

a	armering (kan udelades, når misforståelse ikke er mulig)	6
b	beton	11
g	tyngdeacceleration	21
i	tællevariabel	74
t	total	21
u	brud (ultimal)	10
max	maximal	29
min	minimal	29

* Defineret i afsnit A: NOGLE DEFINITIONER.

) FORMÅL

Dansk Ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner (DS 411)[3] kræver, at forankringslængder - ved overlappingsstød af svejste armeringsnet - bestemmes ved at regne længdejernene stødt som enkeltjern, dvs. at der ikke tages særligt hensyn til de svejste tværtrådes forankrende effekt. Yderligere kræves en forøgelse (på 50%) af stødlængden, når alle jern stødes i samme snit, - hvilket næsten altid er tilfældet ved brug af svejste net.

Ved en omfattende serie af trækforsøg, udført her på Afdelingen for Bærende Konstruktioner med små betonprismer med svejste armeringsnet af gruppe I * er der opnået forsøgsresultater, som er væsentligt gunstigere end den gældende norms forskrift, jf. ABK's interne rapporter nr. I 51 [7] og I 59 [8].

Det er således formålet gennem en ny række forsøg, hvor svejste net af gruppe II ** benyttes, at samle et så omfattende forsøgsmateriale at dette eventuelt kunne danne grundlag for nye regler for stød- og forankringslængder af svejste armeringsnet. Disse nye forsøg skulle omfatte både en serie tilsvarende trækforsøg med prismer og en serie bøjeforsøg med plader i skala 1:1, der belastes dels statisk dels dynamisk.

Det formodes, at stød- og forankringslængder i henhold til nu gældende regler for svejste net kan reduceres, uden at konstruktionernes sikkerhed svækkes. Herved vil betonkonstruktioner med denne armeringsform, der bliver stadig mere almindelig, kunne dimensioneres med mere økonomisk optimale stød- og forankringslængder.

* I henhold til Dansk Standard DS 13082, "Svejste armeringsnet til jernbeton" [5] inddeles disse armeringsnet i to grupper, hvor "gruppe I" omfatter net af glatte eller overfladeprofilerede stål, hvor stålene i begge retninger før svejsningen har forankringsfaktor zeta iht. DS 2082 mindre end 0.6.

** I henhold til Dansk Standard DS 13082 [5] omfatter svejste armeringsnet af gruppe II net med ribbestål i mindst 1 af de 2 retninger. Svejsningen vil her normalt kun have karakter af hæftesvejsning (for ribbestål er zeta større end eller lig med 0.6).

(D) KRAV TIL FORSØGENE

Da det ikke er muligt at opstille et fuldt dækkende forsøgsprogram, før de første forsøgsresultater foreligger, er det benyttede forsøgsprogram resultatet af en række beslutninger, der er taget hen igennem projektperioden. Denne beslutningsproces er beskrevet i afsnit E: FORSØGSPROGRAM, mens udgangspunktet er følgende krav til forsøgene:

- 1 Prøvelegemer og forsøgsopstilling bør gengive forholdene i en enkeltspændt plade, hvori et overlappingsstød mellem to armeringsnet er placeret på det farligste sted.
 - 2 Armeringen bør være en almindeligt anvendt type net.
 - 3 Der bør anvendes en ret svag konstruktionsbeton med minimalt dæklag af armeringen.
- ad 1 Dette krav er opfyldt i alle de bøjeforsøg med enten pladestrimler eller hele pladefelter, der er udført i nærværende projekt. I disse forsøg påvirkes prøvelegemerne til ren bøjning med et næsten konstant moment over den fulde stødlængde og de nærmest tilgrænsende zoner.
- Trækforsøgene med betonprismer, der er udført for at undersøge, om disse enklere forsøg kan erstatte de relativt omstændelige pladeforsøg, er udformet på flere forskellige måder, jf. Delrapport 1.
- ad 2 Armeringsnet, der er anvendt i de første tre serier forsøg: Ø 10 mm Ks 56 S pr. 200 mm med Ø 6 mm Ks 60 S pr. 200 mm (som tværarmering). Denne tværarmeringsgrad ($\psi^t = 1.4\%$) opfylder lige akkurat kravet (V 7.2.4.1) iht. Vejledning til Dansk Ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner [4].
- ad 3 Det er tilstræbt at benytte en beton med den karakteristiske styrke $\sigma'_{bk} = 15 \text{ MPa}$, iht. DS 411 [3]. Dæklagstykkelsen svarende til miljøklasse C iht. DS 411 (10 mm) er anvendt i næsten alle prøvelegemer. (Miljøklasse C omfatter konstruktioner i tør, ikke aggressiv atmosfære, navnlig indendørs klima).

3) FORSØGSPROGRAM

De udførte forsøg er opdelt i syv forsøgsserier, der stort set er udført i forlængelse af hinanden. De to første serier omfatter både bøjeforsøg med pladestrimler og trækforsøg med prøveprismer. Da det imidlertid viste sig ikke at være muligt, at erstatte pladeforsøgene med de testede typer prismeforsøg *, blev der i de fem efterfølgende serier kun udført pladeforsøg.

Den principielle udformning af pladeforsøgenes prøvestrækninger er vist på figur A1 - A4 i afsnit A: NOGLE DEFINITIONER. Detailudformningen, der fås ved angivelse af de variable parameters værdier, findes dels i omtalen af de enkelte forsøgsserier, dels i oversigtstabel 1 og 2, p 91 og 92.

Udformningen af forsøgsopstillingen er beskrevet i afsnit F: FORSØGSMETODIK.

I det følgende er angivet en oversigt over de væsentligste data vedrørende de syv forsøgsserier, således:

forsøgsseriens navn	(a)
periode, hvori forsøgene er udført	(b)
delrapport(er), hvori program og resultater findes	(c)
betegnelse for de enkelte forsøg i ovennævnte delrapport(er) **	(d)
betegnelse for de enkelte forsøg i nærværende rapport, jf. Oversigtstabel 1, p 91	(e)

* Det må formodes, at de ringspændinger, der opstår fra armeringsstålets kraftige kammønster i den omliggende beton, er årsag til, at der ofte indtræder tidligere brud i prismerne og med en anden brudform, end tilfældet er i de pladeformede prøvelegemer, jf. konklusionerne i delrapporterne 1 og 2.

Prismeforsøgene er derfor ikke behandlet og yderligere omtalt i nærværende rapport. (Nøjere omtale findes kun i delrapporterne).

** Denne betegnelse er - for de seks sidstnævnte forsøgsseries vedkommende - i overensstemmelse med den anvendte type stødsamling, jf. figur A1 - A4.

a Pilotforsøg

b september og oktober 1977

c program og resultater: Delrapport 1 (juli kvartal 1977)

d prismeforsøg: 1 , 1* , 1₀ , 3 , 1' , 1'₀ , 3' ,

pladeforsøg: 10 , 10* , 10₀

e pladeforsøg: 0.1, 0.2, 0.3

a Statiske forsøg I

b november og december 1977

c program: Delrapport 1 (juli kvartal 1977)

resultater: Delrapport 2 (oktober kvartal 1977)

d prismeforsøg: 1 , 2 , 3 , 4 , 5

pladeforsøg: 1 , 2 , 3

e pladeforsøg: 1.1, 1.2, 1.3

a Dynamiske forsøg I

b februar, marts, april og maj 1978

c program: Delrapport 2 (oktober kvartal 1977)

resultater: Delrapport 3 (januar & april kvartal 1978)

d pladeforsøg: 2 , 3 , 2 , 3 (dels med svejste net,
dels med bundne)

e pladeforsøg: 1.4D, 1.5D, 1.6D, 1.7D

a Statiske forsøg II

b maj og juni 1978

c program og resultater: Delrapport 3

d pladeforsøg: 2a , 3a , 2b , 3b , 2c , 3c

e pladeforsøg: 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6

a Statistiske forsøg III

b april, juli, september 1978 og februar 1979

c program og nogle resultater: Delrapport 3

program og alle resultater: Delrapport 4, 1. DEL

d pladeforsøg: 2 , 3 , 2 , 2' , 2'

e pladeforsøg: 3.1, 3.2, 3.5, 3.6, 3.7

a Dynamiske forsøg II

b maj og juni 1978

c program og resultater: Delrapport 3

d pladeforsøg: 2 , 3

e pladeforsøg: 3.3D, 3.4D

a Statistiske forsøg IV

b august og september 1978

c program: Delrapport 3

resultater: Delrapport 4, 1. DEL

d pladeforsøg: 2 , 3

e pladeforsøg: 4.1, 4.2

Det er ønskeligt - indenfor projektets givne rammer - at få et stort antal forsøg, der bedst muligt dækker et bredt spektrum af de tænkelige armeringsarrangementer. Dette blev søgt opnået ved følgende forsøgsprogram. Almindeligvis blev der udført tre enkelt-forsøg (med identiske prøvelegemer) pr. forsøg:

I pilotforsøgsserien og i de statistiske forsøg I søges dels en egnet udformning af prøvelegemer og forsøgsmetodik, dels en stødlængde, der lige netop er tilstrækkelig for det grundlæggende armeringsnet.

I de dynamiske forsøg I testes to af de - med hensyn til praktisk anvendelighed - bedre prøvelegemeudformninger ved en vekslende (udmattelses-)belastning.

Dernæst ændres nogle af parametrene. I de statiske forsøg II testes prøvelegemer, hvor den eneste forskel i forhold til tidligere forsøg er, enten en ændret tværarmeringsgrad, eller en ændret stålkvallitet. Sideløbende hermed startes de statiske forsøg III, hvor forskellen hovedsagelig er en ændring af hoved- og tværarmeringsdimensionerne *, mens en uændret tværarmeringsgrad benyttes.

Det viste sig - efter de fire første enkeltforsøg af serien: statiske forsøg III (forsøg 3.1 og 3.2) - at de testede prøvelegemer ikke havde en tilstrækkelig stødlængde til at modstå den ønskede statiske belastning. Derfor blev de resterende to prøvelegemer med denne utilstrækkelige stødlængde udmattelsesprøvet i serien: dynamiske forsøg II (forsøg 3.3D og 3.4D). Til sidst prøves hele pladefelter - i de statiske forsøg IV - med en udformning, svarende til den som benyttes ved de statiske forsøg I, for at undersøge, om mange hovedjer vil have enten en ugunstig eller evt. en gunstig indvirkning på stødsamlingens styrke (gruppevirkning).

* I de to sidste forsøg (3.6 og 3.7) øges dog også dæklagstykkelsen.

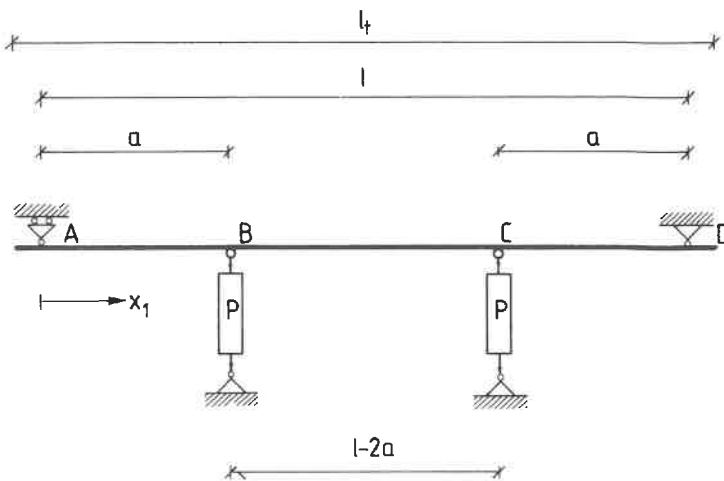
1) FORSØGSMETODIK

Forsøgsopstilling

Både pladestrimler og hele pladefelter belastes i en firepunkts-bøjeopstilling, hvad enten der er tale om statisk eller dynamisk (vekslende) belastning.

Som det fremgår af nedenstående principskitse af den benyttede type forsøgsopstilling, testes pladerne med trækzonen opad. Påvirkningen er et negativt moment M , der er praktisk taget konstant* over prøvestrækningen $l - 2a$, $M(x_1) = -P \cdot a + M_g(x_1)$.

Figur F 1, Principskitse af bøjeopstilling



- A : bevægelig, simpel understøtning,
- D : fast, simpel understøtning,
- l_t : prøvelegemets totale længde,
- l : afstand mellem understøtninger,
- a : længde af forskydningszone,
- $l-2a$: afstand mellem donkrafte (presser),
længde af prøvestrækning.

* Prøvelegemets egenvægt giver et lille (negativt) tillægsmoment, der varierer i pladens længderetning, $M_g(x_1)$.

Størrelsen af ovennævnte hovedmål for de enkelte forsøgsserier er angivet nedenfor i tabel F1. Til sammenligning er der endvidere anført pladernes tykkelse (totale højde) h_t og armeringsnettenes overlappingslængde, stødlængden l_s .

Tabel F1 , Forsøgssopstilling

Forsøgsserie	l_t m	l m	$l-2a$ m	h_t m	l_s m
pilotf.	2.9	2.60	1.00	0.13	0.26
stat. I	2.9	2.60	1.00	0.25	0.35
dyn. I	2.9	2.60	1.00	0.25	0.35
stat. II	2.9	2.60	1.00	0.25	0.26 - 0.40
stat. III	4.5	4.00	2.00	0.40	0.70 - 0.90
dyn. II	4.5	4.00	2.00	0.40	0.70
stat. IV	3.4	3.00	1.40	0.25	0.35

Belastningsudstyr

Der er benyttet seks kombinationer af forsøgsopstilling og belastningsudstyr. Til forsøgsopstillingerne benyttes enten Laboratoriet for Bygningsmaterialer (LBM)'s bøjemaskine eller ABK's spændeplansudstyr. Både bøjemaskine og alt det anvendte belastningsudstyr, som omfatter dels et pumpesystem dels to enkeltvirkende presser, er af fabrikat Amsler.

Pumpesystemet består ved statiske forsøg almindeligvis * af et fjedermanometer (FM) med en trykholder (DH), mens det ved dynamiske forsøg består af en lavfrekvenspulsator (P) med en styrepult (SP).

I de to første forsøgsserier (pilotforsøg og statiske forsøg I) er LBM's bøjemaskine og fjedermanometer kombineret med ABK's presser.

I de øvrige forsøgsserier er spændeplansudstyret kombineret med ABK's belastningsudstyr.

I tabel F2 er der - for de enkelte forsøgsserier - angivet det anvendte belastningsudstyr, således

1. pumpesystem og dettes maksimale olietryk,
2. pressetype og den enkelte presses maksimale kraft ved det benyttede måleområde,

- samt til sammenligning -

3. den maksimale kraft, som presserne skal kunne yde for at påføre prøvelegemerne de beregnede brudmomenter (inclusive prøvelegemernes egenvægt).

* Ved de to første forsøg i serien statiske forsøg III (forsøg 3.1 og 3.2) benyttes en trykholder uden fjedermanometer, men i stedet med en olietryktransducer med tilhørende måleforstærker (udlæsning på digitalvoltmeter og potentiometer-skriver).

Tabel F2. Belastningsudstyr

Forsøgs- serie	Pumpesystem (Amsler)type olietryk MPa	Presser (Amsler)type kraft kN	Brud- kraft $P_g^r + P_u^r$ kN
pilotf.	FM 2750 m. trykholder 27.7	EPZ g 2.5 10	7
stat. I	FM 2750 m. trykholder 27.7	EPZ g 2.5 20	19
dyn. I	P 960 m. SP 1351 18.5	EPZ 5/2.5 25	(10)
stat. II	FM 1033 m. DH 1076 36.9	EPZ 5/2.5 25	19
stat. III	{ DH 1076* el. 36.9 FM 1033 m. 36.9 DH 1076 }	EPZ g 12 131	94
dyn. II	P 960 m. SP 1351 18.5	EPZ g 12 65	(36)
stat. IV	FM 1033 m. DH 1076 36.9	EPZ 20/10 98	87

* Se fodnoten på forrige side.

Belastningsprocedure, statiske forsøg

Ved næsten alle forsøg * er proceduren således:

1. Før hvert enkeltforsøg har prøvelegemet været ubelastet, dvs. pladen har ligget på et plant underlag i nogle dage (lasttrin -1).
2. Ved deformationsstyring af presserne, dvs. ved hjælp af fjedermandometer uden brug af trykholder, pumpes der olie under pressernes stempler.
3. Pladen løftes op og lægges af på presserne.
4. Pumpesystemet skiftes over til kraftstyring, dvs. trykholderen kobles ind. Det olietryk, der får pladen til at svæve (bærer pladens egenvægt), benyttes som nulpunkt for belastningspåførslen (lasttrin 0).
5. Lasttrin 1: Ved minimal ekstra olietilførsel løftes pladen op mod de to understøtninger, pkt. A og D på figur F1. Derefter øges olietrykket i løbet af 1-2 minutter til den ønskede belastning og holdes nu konstant i 5 minutter.
6. Følgende lasttrin: Olietrykket øges i løbet af 1-3 minutter og holdes konstant i 5-7 minutter som ved første lasttrin. Denne procedure fortsættes, indtil brud i prøvelegemet indtræder.

Det 10. eller 11. lasttrin er altid lig med pladens regningsmæssige brudlast $M_u^r = -P_u^r \cdot a + M_g^r$, som defineret i afsnit A:
NOGLE DEFINITIONER.

En del prøvelegemer overlevede en hårdere belastning end denne, bl.a. som følge af variationer i betonkvalitet.

Størrelsen af de enkelte lasttrin er i tabel F3 angivet (dimensionsløst) (1) for pilotforsøgsserien, (2) for de statiske forsøg I og (3) for de øvrige statiske forsøgsserier. På figur F2 - F4 er typiske hertil svarende belastningshistorier skitseret. Det

*

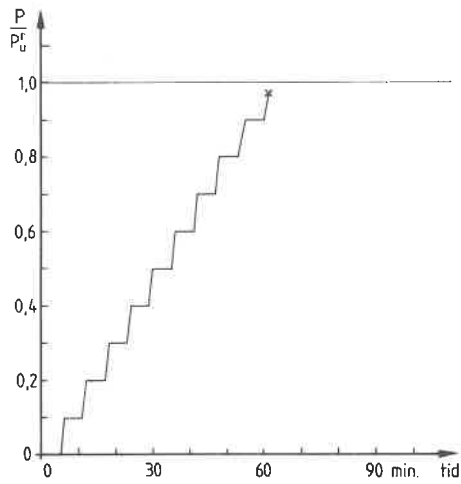
Ved forsøg 3.1 og 3.2 er punkt 2 i proceduren sprunget over, hvilket gør proceduren vanskeligere i praksis, men iøvrigt ikke ændrer prøvelegemets belastningshistorie.

bemærkes, at efter flydning i hovedjernet er indtrådt, øges belastningen langsommere end tidligere, således at et brud i prøvelegemet kan nå at udvikle sig, inden belastningen er øget væsentligt.

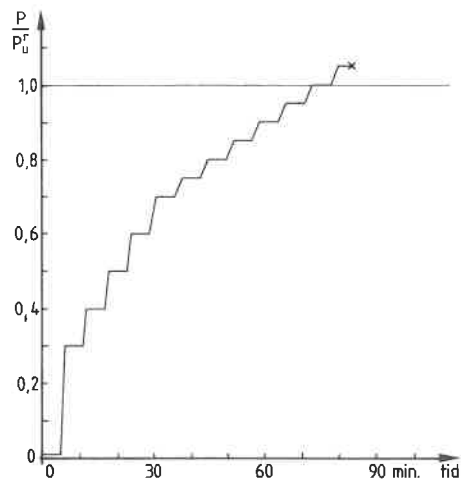
Tabel F3, Tilstræbt belastningshistorie, statiske forsøg

Forsøgsserie	pilot	statiske I	stat. II, III & IV
Lasttrin	$\frac{P}{P_u^r}$	$\frac{P}{P_u^r}$	$\frac{P}{P_u^r}$
-1	0	0	0
0	0 (= egenvægt)	0 (= egenvægt)	0 (= egenvægt)
1	0.10	0.30	0.20
2	0.20	0.40	0.40
3	0.30	0.50	0.60
4	0.40	0.60	0.70
5	0.50	0.70	0.75
6	0.60	0.75	0.80
7	0.70	0.80	0.85
8	0.80	0.85	0.90
9	0.90	0.90	0.95
10	1.00 (\approx brudlast)	0.95	1.00 (\approx brudlast)
11	1.10	1.00 (\approx brudlast)	1.05
12		1.05	1.10
13		1.10	

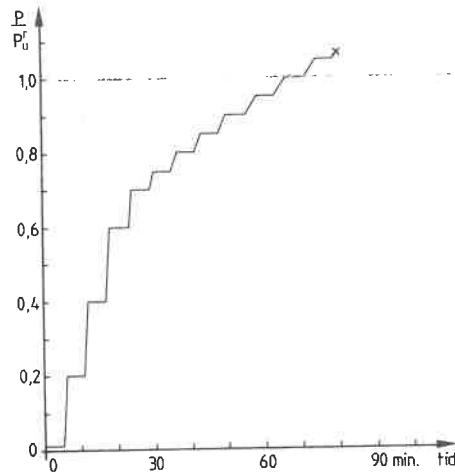
Figur F2, Typisk belastningshistorie, pilotforsøg



Figur F3, Typisk belastningshistorie, statiske forsøg I



Figur F4, Typisk belastningshistorie, statiske forsøg II, III og IV



Belastningsprocedure, dynamiske forsøg

De benyttede lavfrekvenspulsatorer bliver styret uafhængigt af hinanden fra hver sin styrepult. På styrepulten indstilles det minimale og det maksimale olietryk, som pulsatoren tilfører presserne, via to potentiometre.

Ved de dynamiske forsøg tilstræbes det, at belastningen af pladen reguleres, således at et fastlagt spændingsgab i hovedjernet opnås. Dette er først muligt, når pladen er revnet nær målesnittet, - der hvor spændingen i hovedjernet måles, se herom p.31.

Forsøgsproceduren er derfor således:

1. Før hvert enkeltforsøg har prøvelegemet været ubelastet, dvs. pladen har ligget på et plant underlag i nogle dage.
2. Pladen løftes op og lægges af på presserne.
3. Pulsatoren startes og indstilles til at yde et statisk olietryk, således at pladen netop trykkes op mod understøtningerne, pkt. A og D på figur F1. Et nulpunkt for belastningspåførslen bestemmes således ikke ved denne procedure.

4. Den statiske last øges, indtil pladen revner ved målesnittet, hvorefter lasten reduceres igen.
5. Den dynamiske påvirkning påføres ved at potentiometrene indstilles, så det ønskede spændingsniveau i armeringen opnås.
6. Når pladen har overlevet $2 \cdot 10^6$ pulsationer ved et spændingsniveau (i løbet af godt 5 døgn), ændres belastningen af pladen, så et større spændingsgab i armeringen opnås. Denne procedure fortsættes, indtil der opstår brud i prøvelegemet.

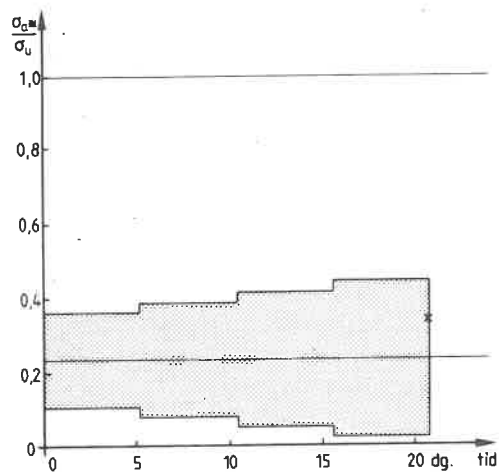
Ved alle forsøg viste det sig at være umuligt - efter blot få hundrede pulsationer - at holde spændingen i hovedjernet på det tilstræbte belastningsinterval, idet minimumspændingen ikke kunne fastholdes så lavt som tilstræbt, formodentlig på grund af smuld-opfyld i de opståede revner. For at opretholde det ønskede belastningsniveau måtte belastningen af pladen justeres løbende:

Minimumspændingen i hovedjernet blev holdt så lavt som muligt, og spændingsgabets blev justeret iht. nedenstående tilspidsningsformel, jf. p. V 10 i DS 411 [4]:

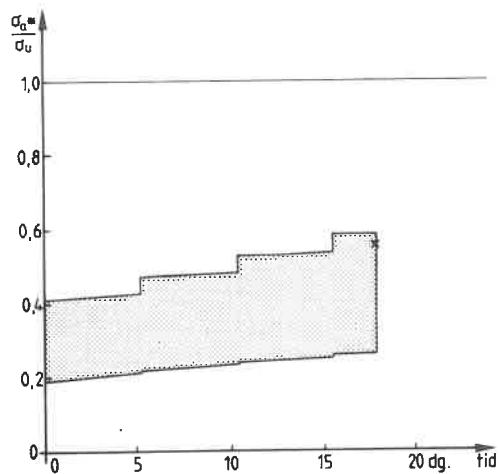
$$\Delta \sigma_{a,max} = 0.6 \cdot \Delta \sigma_{a,min}$$

På figur F5 er angivet den belastningshistorie, som er tilstræbt ved de dynamiske forsøg I. Til sammenligning er der på figur F6 skitseret en typisk hertil svarende belastningshistorie, som denne fremkom under forsøget i henhold til ovennævnte.

Figur F5, Tilstræbt belastningshistorie, dynamiske forsøg I



Figur F6, Typisk belastningshistorie, dynamiske forsøg I



* $\sigma_u = 755 \text{ MPa}$, jf. tabel H2.

Registrering under forsøg

Under alle forsøg - og især i prøvelegemets brudstadium - er det væsentligt at kende dels de kræfter, som prøvelegemet bliver påført (momentbelastning hidrørende fra tyngdeacceleration, kraft i presserne og reaktioner ved understøtningerne), dels selve belastningen af hovedarmeringen (det aktuelle punkt $(\epsilon, \sigma)_a$ på armeringens arbejds-kurve).

Kraften i presserne måles, og når forsøgsopstillingens geometri og tyngdeacceleration er kendt, kan pladens momentbelastning beregnes.

Til bestemmelse af belastningen af hovedarmeringen er der i alle plader (lige udenfor stødsamlingens slutning) indlagt et målesnit, der er forsynet med strain-gages, som er placeret dels direkte på hovedarmeringen dels direkte på trykarmeringen i samme vertikale plan. Strain-gagene, som alle er orienteret i pladens længderetning, er placeret diametralt modsat hinanden på det enkelte armeringsjern, således at tøjninger hidrørende fra bøjning i jernet kan elimineres. Ved hjælp af strain-gagene, der forbindes i en Wheatstone bro, bestemmes således både træk- og trykarmeringens længdetøjninger henholdsvis ϵ_a og ϵ'_a , og via de respektive armeringers arbejdskurve findes jernspændingerne, hhv. σ_a og σ'_a . Ved alle forsøg bestemmes strain-gagemålingernes nulpunkt ($\epsilon_a = \epsilon'_a = \sigma_a = \sigma'_a = 0$) når prøvelegemet har ligget ubelastet på et plant underlag i nogle dage (pkt. 1 i forsøgsprocedurene).

Ved forsøg, hvor prøvelegemer belastes statisk, registreres ved hvert lasttrin samt før og efter flydning i hovedarmeringen og endelig ved brud følgende:

1. Revneudviklingen over hele prøvestrækningen.
 2. Kraften, som presserne yder.
 3. Tøjninger i armeringsjernene.
- ad. 1. Revnerne trækkes op (med "speed marker") på selve prøvelegemet og fotograferes med mellemrum.
- ad. 2. Normalt * aflæses kraften på fjedermanometeret, der har slæbeviser.

* Ved forsøg 3.1 og 3.2 registreres kraftens størrelse med en olietryktransducer med måleforstærker og udlæses på voltmeter og potentiometer-skriver.

ad. 3. Inden brud i trækarmringens strain-gages indtræder (dvs. normalt for $\epsilon_a \leq 30\%$), aflæses tøjningerne enten manuelt med en BLH digital strain indicator type 1200 eller ved hjælp af en datalogger med udskrift via Teletype. Efter brud i strain-gagene ($\epsilon_a > 30\%$) skønnes tøjningen i trækarmringen på grundlag af:

dels pladens (moment-)nullinie d , der er nøje bestemt før brudet i strain-gagene, og som almindeligvis ikke flytter sig væsentligt herefter, dels pladens krumning i området ved målesnittet, som skønnes udfra opmåling på fotos.

Ved de dynamiske forsøg, hvor prøvelegemer belastes med vekslende last (dvs. udmattelsestestes), benyttes strain-gagemålingerne til fastlæggelse af det ydre lastniveau (fra P_{\min} til P_{\max}), som presserne skal yde for at opnå det ønskede spændingsgab i hovedarmeringen ($\sigma_{a,\min}$ til $\sigma_{a,\max}$). Både tøjningsintervaller (1) i træk- og trykarmering ($\epsilon_{a,\min} - \epsilon_{a,\max}$ og $\epsilon'_{a,\min} - \epsilon'_{a,\max}$), der aflæses med en Peekel DNH 540 strain indicator via et oscilloskop, og kraftinterval (2) ($P_{\min} - P_{\max}$) noteres og finjusteres regelmæssigt igennem forsøgsperioden. Udover disse målinger optegnes og fotograferes revneudviklingen (3) i prøvelegemet som ved de statiske forsøg.

i) STATISKE FORSØG

De statiske forsøg omfatter dels en pilotforsøgsserie dels fire egentlige forsøgsserier, der er nummereret med romertal I - IV. Indenfor hver forsøgsserie benyttes altid den samme forsøgsopstilling, jf. figur F1 og tabel F1.

Pilotforsøg

Denne forsøgsserie omfatter tre forsøg (0.1, 0.2, 0.3), der hver består af ($n^f =$) 3 enkeltforsøg (dvs. bøjeforsøg med tre identiske pladestrimler); i alt ni enkeltforsøg.

Den principielle udformning af de tre (forskellige) pladestrimler, der alle har ($n^h =$) 1 hovedjern * og 1 modholdsjern *, - som stødes ved, at det ene armeringsnet placeres lige ovenpå det andet -, er skitseret på figur A1 og A2. Detailudformningen er givet i tabel G1 i kraft af de indgående parametres størrelse:

- 1 Trækarmringens dimension, stål kvalitet og maskevidde for såvel længde - som tværjern samt, hvorledes disse jern er forbundet.
(Trykarmering benyttes ikke i den forsøgsserie,)
- 2 Prøvestrækningens bredde, længde og højdemål.

* Definition af disse begreber findes i afsnit A: NOGLE DEFINITIONER.

Tabel G1, Prøvelegemeudformning, pilotforsøg

Forsøg	0.1	0.2	0.3
Udformning skitseret på fig.	A2	A1	A2
<u>Trækarmoring</u>			
længdejern, dimension ϕ^l , mm	10	10	10
kvalitet	Ks 56 S	Ks 56 S	Ks 56 S
maskevidde m^l , mm	200	200	200
forbindelse ml. l.- og t.-jern	svejst	svejst	bundet
tværjern, dimension ϕ^t , mm	6	6	6
kvalitet	Ks 60 S	Ks 60 S	Ks 60 S
maskevidde m^t , mm	200	200	200
<u>Prøvestrækning</u>			
bredde b , mm	195	195	195
længde $l-2a$, mm	1000	1000	1000
pladetykkelse h_t , mm	130	130	130
lgd. af fri stangende λ^t , mm	20	20	20
stødlængde l_s , mm	260	260	260
dæklagstykkelse δ , mm	10	10	10
nyttehøjde h^h , mm	98	92	98

Forsøgsresultaterne, der er angivet i tabel G2, er opdelt i fem punkter:

- 1 Styrke af trækarmoring omfattende:
 - 1 hoveddata vedrørende længdejernenes trækarbejdskurve,
 - 2 afskydningsstyrke af svejsninger mellem længde- og tværjern P_a .
- 2 Den regningsmæssige brudstyrke af prøvelegemerne.
- 3 Betontrykstyrke.
- 4 Data registreret ved brud i prøvelegemerne omfattende:
 - 1 påført momentbelastning M ,

- 2 udnyttelse af hovedjernet, (ϵ, σ) på jernets arbejdskurve,
- 3 brudårsag.

5 En sammenligning mellem de registrerede data (pkt. 4.1 og 4.2) og de tilsvarende brudstyrker (hhv. pkt. 2 og pkt. 1.1).

ad 1.1 Hoveddata for trækarbejdskurver omfatter en angivelse af jernets flydespænding (σ_f) og brudspænding (σ_u) samt flydetøjningsinterval (ϵ_{f1} til ϵ_{f2}) og den jævnt fordelte forlængelse efter brud (ϵ_u), se figur A6 (og tabel 2.1 i bilag 2).

ad 1.2 Styrken af svejsninger er i denne forsøgsserie den samme for hovedarmeringsnettet som for modholdsarmeringen, henholdsvis h og m som øvre indices, (når armeringen er bundet sættes $P_a = 0$), se tabel 4.1 i bilag 4.

ad 2 Forudsætninger for den regningsmæssige (r som øvre index) brud(moment)belastning findes i afsnit A og i bilag 7. M_u^r findes i tabel 7.3 i bilaget.

ad 3 Betonstyrken, målt ved trykstyrken af 3-5 prøvecylindre σ_{cyl} er angivet dels for hvert enkeltforsøg, dels som middelværdi med variationskoefficient V for hvert forsøg, se tabel 6.2 og 6.9 i bilag 6.

ad 4.1 Den ved forsøg (f som øvre index) påførte maksimale momentbelastning er angivet dels for hvert enkeltforsøg, dels som middelværdi med variationskoefficient.

ad 4.2 Den maksimale tøjning i hovedjernet ϵ_u^f (og den hertil hørende spænding σ_u^f), der er registreret, er angivet for hvert enkeltforsøg. Desuden findes middelværdi med variationskoefficient for hovedjernsspændingen.

ad 4.3 Prøvelegemers brudårsag er opdelt i fem typer, hvis opdeling er fælles for alle statistiske forsøgsserier:

- a: Indsnøring af hovedjern (medfører altid betontrykbrud).
- b: Forankringsbrud, hvorved længdejern uden tværjern er trukket ud gennem dæklaget.

c: Forankringsbrud, hvorved længdejern med tværjernenes svejsninger intakt er trukket ud gennem dæklaget.

d: Forskydningsbrud i prøvelegemet udenfor prøvestrækningen.

e: Betontrykbrud.

Brudårsagen for hvert enkeltforsøg er angivet i tabellen.

ad 5 Forsøgsresultaterne fra prøvelegemernes brudstadium (pkt. 4.1 og 4.2) er sammenholdt med henholdsvis den regningsmæssige brudstyrke (pkt. 2) og hovedjernets trækbrudspænding (pkt. 1.1).

På figur G1 er vist to eksempler på, hvorledes pladestrimlerne ser ud efter brud.

Tabel G2, Forsøgsresultater, pilotforsøg

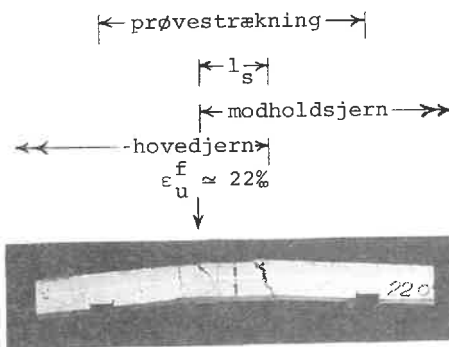
Forsøg	0.1	0.2	0.3
<u>Styrke af trækarmoring</u>			
længdejern $(\epsilon, \sigma)_f$, (‰, MPa)	(3-25, 590)	(3-25, 590)	(3-25, 590)
$(\epsilon, \sigma)_u$, (‰, MPa)	(120, 710)	(120, 710)	(120, 710)
svejsning $\bar{P}_a^h = \bar{P}_a^m$, kN	20	21	0
<u>Regningsmæssig brudstyrke</u>			
moment M_u^r , kNm	5.07	4.74	5.07
<u>Betontrykstyrke</u>			
σ_{cyl} , MPa	19.8 20.8 20.9	19.8 21.9 20.9	19.3 20.8 21.9
$(\bar{\sigma}_{cyl}, V)$, (MPa, ‰)	(20.5, 3)	(20.9, 5)	(20.6, 6)
<u>Brudstadium ved forsøg</u>			
moment M_u^f , kNm	4.39 4.01* 4.40	4.78* 4.44 4.32	5.04 4.53 4.54
(\bar{M}_u^f, V) , (kNm, ‰)	(4.26, 5)	(4.51, 5)	(4.70, 6)
hovedjern $(\epsilon, \sigma)_u^f$, (‰, MPa)	(3, 590) (22, 590)* (42, 650)	(37, 640)* (33, 630) (36, 640)	(22, 590) (38, 640) (28, 610)
$(\bar{\sigma}_u^f, V)$, (MPa, ‰)	(610, 6)	(635, 1)	(615, 4)
brudårsag	c c* e	e* c e	b b e
<u>Sammenligning</u>			
moment $\frac{\bar{M}_u^f}{M_u^r}$	0.84	0.95	0.93
hovedjern $\frac{\bar{\sigma}_u^f}{\sigma_u}$	0.86	0.89	0.87

* Se fotos på figur G1.

Figur G1, Fotos taget efter brud i pladestrimmel

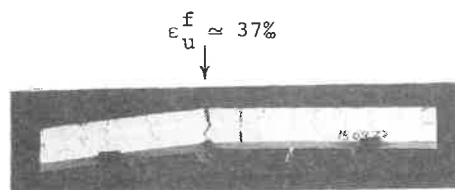
a 2. enkeltforsøg i forsøg 0.1 .

Brudårsag c: Forankringssvigt. Modholdsjernet med dets tværjern er vippet ud gennem dæklagsbetonen efter i alt ca 22 %'s tøjning i hovedjernet i målesnittet ($\epsilon_a^h \approx 22\%$). $M_u^f = 0.79 M_u^r$



b 1. enkeltforsøg i forsøg 0.2 .

Brudårsag e: Betontrykbrud i pladens trykzone efter i alt ca 37 %'s tøjning i hovedjernet ved målesnittet. $M_u^f = 1.01 M_u^r$



Vurdering af forsøgsresultaterne er foretaget på baggrund af formålet med de statiske forsøgsserier: at finde stødsamlinger (dvs. en kombination af stødtype og stødlængde), som medfører, at prøvelegemernes brudårsag bliver af type a: Indsnøring af hovedjern,

$$\text{dvs. } \frac{\bar{M}_u^f}{\bar{M}_u^r} \approx \frac{\bar{\sigma}_u^f}{\bar{\sigma}_u} \approx 1 .$$

Dette er ikke opnået i pilotforsøgsserien, idet kun de to følgende hovedårsager til brud er registreret:

- 1 Brud i betonen i pladernes trykzone (type e).
- 2 Forankringsbrud (type b og c).

- ad 1 Dette skyldes en uheldig udformning af prøvelegemerne, fordi det således ikke er forankringen af trækarmeringen, som bliver testet til brud (enten i hovedjern eller i stødsamling).
- ad 2 Dette må tilskrives en for kort stødlængde for den testede stødsamling.

Principiel ændring af prøvelegemernes udformning

Den udformning af prøvelegemer (plader), som er benyttet ved pilotforsøgene, svarer til en udformning, som benyttes i almindeligt dansk boligbyggeri, - hvor en fuldstændig udnyttelse af trækarmingsstålet ikke benyttes ved dimensioneringen. En sådan udnyttelse af det anvendte kamstål (til dets brudgrænse) kræver, at betonen i pladens trykzone kan tåle deformationer (krumninger i pladen), som svarer til en forlængelse af trækarmeringen på ca. 110%.

Udformningen af prøvelegemer til de efterfølgende forsøgsserier adskiller sig derfor fra den, som er benyttet i pilotforsøgsserien, idet:

- 1 Prøvelegemernes totale højde (pladernes tykkelse h_t) er 2 - 3 gange så stor i de efterfølgende forsøgsserier*.
- 2 Pladerne har trykarmering (oversidearmering).

Denne ændring medfører, at betonen i pladernes trykzone kan tåle en forlængelse af trækarmeringen på godt 80%.

*

Det er tilstræbt at holde pladetykkelsen så lille som mulig, dels for at efterligne almindeligt byggeri bedst muligt, dels for at undgå en underarmering af pladerne (,hvorved der her menes, at betonen ikke revner i trækzonen, før pladens flydelast er påført).

Statistiske forsøg I

Denne forsøgsserie omfatter tre forsøg (1.1, 1.2, 1.3), der hver består af ($n^f =$) 3 enkeltforsøg. De tre typer pladestrimler har alle ($n^h =$) 1 hovedjern, hvortil tværjernene er svejst, og en stødlængde på $l_s = 350$ mm .

I forsøg 1.1 er stødsamlingen udført principielt som i forsøg 0.1 (stødsamling type 1), hvor hovedarmeringsnettet placeres lige ovenpå modholdsarmeringen, jf. figur A2.

I de to andre forsøg placeres hoved- og modholdsarmeringen i samme plan, hvilket i praksis må anses for gunstigt, idet dels får hovedjernene således en større nyttehøjde, dels kan armeringsnettene også stødes i tværretningen uden at skulle ligge i mange lag ved nettenes hjørner. Dette kan lade sig gøre, idet det ene nets tværjern fjernes (udelades) i stødzonen.

I forsøg 1.2, hvor længdejernene ligger nærmest betonoverfladen, fjernes hovedjernets tværjern (stødsamling type 2), jf. figur A3.

I forsøg 1.3, hvor tværjernene er nærmest betonoverfladen, fjernes tværjernene på de to modholdsjern (stødsamling type 3), jf. figur A4 .

Detailudformningen af de tre typer prøvelegemer er givet i tabel G3, svarende til tabel G1 for pilotforsøgene (størrelser, der vedrører trykarmeringen, er mærket med ' som øvre index. h' er centerafstanden mellem træk- og trykarmering) .

Tabel G3, Prøvelegemeudformning, statiske forsøg I

Forsøg Udformning skitseret på fig.	1.1 A2	1.2 A3	1.3 A4
<u>Trækarmring</u>			
hovedjern, antal jern n^h , stk	1	1	1
dimension ϕ^l , mm	10	10	10
kvalitet	Ks 56 S	Ks 56 S	Ks 56 S
maskevidde m^l , mm	200	200	200
forbindelse ml. h.- og t.-jern	svejst	svejst	svejst
tværjern, dimension ϕ^t , mm	6	6	6
kvalitet	Ks 56 S	Ks 56 S	Ks 56 S
maskevidde m^t , mm	200	200	200
<u>Trykarmering</u>			
trykjern, antal jern n' , stk	3	3	3
dimension ϕ' , mm	10	10	10
<u>Prøvestrækning</u>			
bredde b , mm	200	295	295
længde $l-2a$, mm	1000	1000	1000
pladetykkelse h_t , mm	250	250	250
lgd. af fri stangende λ^l , mm	-	48	48
lgd. af fri stangende λ^t , mm	25	25	25
stødlængde l_s , mm	350	350	350
dæklagstykkelse δ , mm	10	10	10
nyttehøjde h^h , mm	218	235	229
afst. ml. træk- og trykjern h' , mm	203	220	214

Forsøgsresultaterne, der er angivet i tabel G4, er opdelt i fem punkter - ligesom for pilotforsøgene:

- 1 Styrke af trækarmering omfattende:
 - 1 hoveddata vedrørende længdejernenes trækarbejdskurve,
 - 2 afskydningsstyrke af svejsninger mellem længde- og tværjern P_a .
- 2 Den regningsmæssige brudstyrke af prøvelegemerne.
- 3 Betontrykstyrke.
- 4 Data registreret ved brud i prøvelegemerne omfattende:
 - 1 påført momentbelastning M ,
 - 2 udnyttelse af hovedjernet, (ϵ, σ) på jernets arbejdskurve,
 - 3 brudårsag.
- 5 En sammenligning mellem de registrerede data (pkt. 4.1 og 4.2) og de tilsvarende brudstyrker (henholdsvis pkt. 2 og pkt. 1.1).

Kommentarerne til disse punkter er som for pilotforsøgene, se p. 35-36, med følgende tilføjelser:

- ad 1.2 Styrken af svejsninger i hovedarmeringsnettet (h) er almindeligvis forskellig fra styrken i modholdsarmeringen (m).

For de stykker armeringsnet, hvor tværjernene er udeladt i stødzonen, er svejsningsstyrkerne angivet i parentes, se tabel 4.2 i bilag 4.

- ad 3 I de fleste prøvelegemer er træk- og trykzone fremstillet af to forskellige betonblandinger. I disse tilfælde er begge blandingers cylindertrykstyrke angivet som et talpar:

σ_{cyl} er trykstyrke af beton i pladens trækzone,
 σ'_{cyl} er trykstyrke af beton i pladens trykzone.

For hvert enkeltforsøg er angivet trykstyrkerne af betonen både i pladernes træk- og trykzone. Desuden er middelværdien med variationskoefficient af betonstyrken i trækzonen udregnet for hvert forsøg, se tabel 6.3 og 6.9 i bilag 6.

På figur G2 er vist en serie fotos, som er taget i forbindelse med det tredje enkeltforsøg i forsøg 1.2, det eneste enkeltforsøg i nærværende forsøgsserie, hvor forankringssvigt var pladens brudårsag.

Tabel G4, Forsøgsresultater, statiske forsøg I

Forsøg	1.1	1.2	1.3
<u>Styrke af trækarmoring</u>			
længdejern $(\epsilon, \sigma)_f$, (% , MPa)	(3-22,630)	(3-22,630)	(3-22,630)
$(\epsilon, \sigma)_u$, (% , MPa)	(110 ,755)	(110 ,755)	(110 ,755)
svejsning P_a^h , kN	18	(11)	13
P_a^m , kN	18	20	(18)
<u>Regningsmæssig brudstyrke</u>			
moment M_u^r , kNm	12.53	13.70	13.34
<u>Betontrykstyrke i prøvelegemernes (træk-, trykzone)</u>			
$(\sigma_{cyl}, \sigma'_{cyl})$, (MPa, MPa)	21.4 22.4 17.0	(20.0, 19.9) (21.3, 20.5) (21.4, 19.7)	(20.9, 21.3) (19.2, 20.7) (19.4, 18.5)
$(\bar{\sigma}_{cyl}, v)$, (MPa, %)	(20.3, 14)	(20.9, 4)	(19.8, 5)
<u>Brudstadium ved forsøg</u>			
moment M_u^f , kNm	12.6 12.8 13.1	14.0 15.0 14.0*	14.0 14.5 14.0
(\bar{M}_u^f, v) , (kNm, %)	(12.8, 2)	(14.3, 4)	(14.2, 2)
hovedjern $(\epsilon, \sigma)_u^f$, (% , MPa)	(110 ,755) (110 ,755) (110 ,755)	(110 , 755) (110 , 755) (80 , 745)*	(110 , 755) (110 , 755) (110 , 755)
$(\bar{\sigma}_u^f, v)$, (MPa, %)	(755 , 0)	(750 , 1)	(755 , 0)
brudårsag	a a a	a a b*	a a a
<u>Sammenligning</u>			
moment $\frac{\bar{M}_u^f}{M_u^r}$	1.03	1.05	1.06
hovedjern $\frac{\bar{\sigma}_u^f}{\sigma_u}$	1.00	0.99	1.00

* Se fotos på figur G2.

Figur G2, Fotoserie taget i løbet af forsøg

3. enkeltforsøg i forsøg 1.2 (hovedarmering i højre side - mod sædvane).

Lasttrin 7

$$\begin{aligned} M &= 0.79 M_u^r \\ \epsilon_a &= 3 \text{ ‰} \\ \sigma_a &= 0.83 \sigma_u \end{aligned}$$

Lasttrin 9

$$\begin{aligned} M &= 0.88 M_u^r \\ \epsilon_a &= 33 \text{ ‰} \\ \sigma_a &= 0.89 \sigma_u \end{aligned}$$

Lasttrin 10

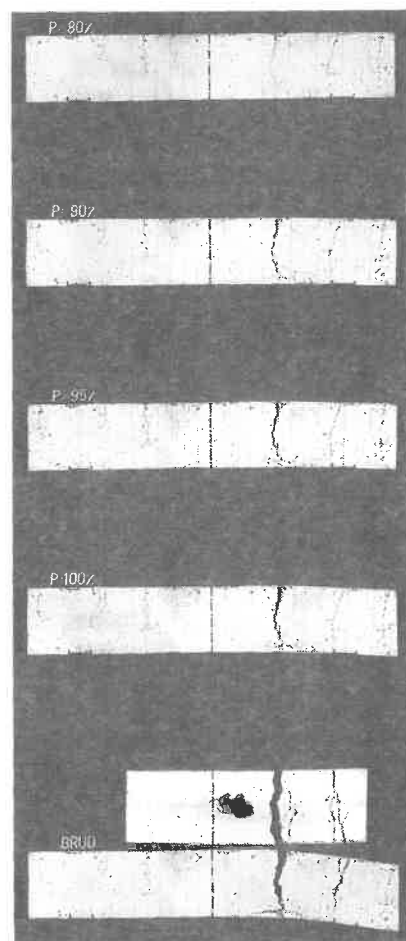
$$\begin{aligned} M &= 0.93 M_u^r \\ \epsilon_a &= 41 \text{ ‰} \\ \sigma_a &= 0.92 \sigma_u \end{aligned}$$

Lasttrin 11

$$\begin{aligned} M &= 0.97 M_u^r \\ \epsilon_a &= 52 \text{ ‰} \\ \sigma_a &= 0.95 \sigma_u \end{aligned}$$

Brud

$$\begin{aligned} M_u^f &= 1.02 M_u^r \\ \epsilon_u^f &\approx 80 \text{ ‰} \\ \sigma_u^f &\approx 0.99 \sigma_u \end{aligned}$$



Brudårsag b: Forankringssvigt. Dæklagsbetonen er løsnet i halvdelen af stødzonen (i stødsamlingens slutning).

Vurdering af forsøgsresultaterne: Næsten alle prøvelegemerne * har opnået en fuldstændig forankring af den anvendte type armeringsnet, således at selve hovedjernet er brudt ved indsnøring (brudårsag a), mens overlappingsstødet har kunnet modstå påvirkningen fra brudmomentet.

For stødsamlinger, der - for den benyttede type armeringsnet - udformes som en af de tre testede stødtyper * (type 1, 2 eller 3), er den nødvendige og tilstrækkelige overlappingslængde således $l_s = 350 \text{ mm } (35 \times \phi^1)$.

* Et af de tre prøvelegemer med stødsamling af type 2 (hovedjern nærmest betonoverfladen) brød som følge af forankringssvigt, da hovedjernet var forlænget ca 80%.

Statistiske forsøg II

Denne forsøgsserie omfatter seks forsøg (2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6), der hver består af ($n^f =$) 2 enkeltforsøg. De seks typer pladestrimler er alle udformet som ved forsøg 1.2 eller 1.3 i de statistiske forsøg I:

stødsamlinger af type 2 og type 3 testes (dvs. henholdsvis langedejr nærmest betonoverfladen og tværjern nærmest overfladen).

Forskellen - i forhold til de statistiske forsøg I - består i, at i nærværende forsøgsserie testes svejste armeringsnet, hvor enten langedearmeringens tværarmeringsgrad * eller stålqualiteten ændres:

- a I forsøg 2.1 og 2.2 reduceres tværarmeringsgraden til det halve $\varphi^t = 0.7\%$ ved at afstanden mellem tværjernene fordobles ($m^t = 400$ mm). Ved denne ændring skønnes det nødvendigt (ud fra Afdelingens erfaringer ved tidligere forankringsforsøg) at øge stødlængden til $l_s = 400$ mm for fortsat lige akkurat at opnå fuld forankring af armeringsnettet.
- b I forsøg 2.3 og 2.4 fordobles tværarmeringsgraden ($\varphi^t = 2.8\%$ ved at reducere tværjernsafstanden ($m^t = 100$ mm). Det skønnes tilsvarende, at stødlængden herved kan reduceres til $l_s = 280$ mm.
- c I forsøg 2.5 og 2.6 benyttes net med samme dimensioner som i forsøg 1.2 og 1.3; men stålet er nu af kvalitet Ks 42 S. Herved skønnes det, at stødlængden kan reduceres til $l_s = 260$ mm ($\approx \frac{42}{56} \cdot l_s$ (Ks 56 S)).

Detailudformningen af de seks typer prøvelegemer er givet i tabel G5, der er udformet som tabel G1 og G3 for henholdsvis pilotforsøg og statistiske forsøg I.

Forsøgsresultaterne, der ligeledes er angivet som for de statistiske forsøg I, findes i tabel G6 og G7. Kommentarer til disse tabellers inddelinger findes dels p 35-36 dels p 43.

På figur G3 er vist de fotos, som er taget ved det første enkeltforsøg 2.3, det eneste enkeltforsøg i nærværende forsøgsserie, hvor forankringssvigt var pladens brudårsag.

* Definition findes i afsnit A: $\varphi^t = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{(\varnothing^t)^2}{m^t \cdot \varnothing^1}$.

Tabel G5, Prøvelegemeudformning, statiske forsøg II

Forsøg Skitse på fig.	2.1 A3	2.2 A4	2.3 A3	2.4 A4	2.5 A3	2.6 A4
<u>Trækarmring</u>						
n ^h , stk	1	1	1	1	1	1
Ø ^l , mm	10	10	10	10	10	10
kvalitet	Ks 56 S	Ks 56 S	Ks 56 S	Ks 56 S	Ks 42 S	Ks 42 S
m ^l , mm	200	200	200	200	200	200
forbindelse	svejst	svejst	svejst	svejst	svejst	svejst
Ø ^t , mm	6	6	6	6	6	6
kvalitet	Ks 60 S	Ks 60 S	Ks 60 S	Ks 60 S	Ks 42 S	Ks 42 S
m ^t , mm	400	400	100	100	200	200
<u>Trykarmring</u>						
n', stk	3	3	3	3	3	3
Ø', mm	10	10	10	10	10	10
<u>Prøvestrækning</u>						
b, mm	295	295	295	295	295	295
l-2a, mm	1000	1000	1000	1000	1000	1000
h _t , mm	250	250	250	250	250	250
λ ^l , mm	48	48	48	48	48	48
λ ^t , mm	25	25	25	25	25	25
l _s , mm	400	400	280	280	260	260
δ, mm	10	10	10	10	10	10
h, mm	235	229	235	229	235	229
h', mm	220	214	220	214	220	214

Tabel G6, Forsøgsresultater, statiske forsøg II

Forsøg	2.1	2.2	2.3
1	<u>Styrke af trækarmring</u>		
længdejern $(\epsilon, \sigma)_f$, (% , MPa)	(3-24,630)	(3-24,630)	(3-24,630)
$(\epsilon, \sigma)_u$, (% , MPa)	(110 ,765)	(110 ,765)	(110 ,765)
svejsning p_a^h , kN	(13)	13	(13)
p_a^m , kN	25	(25)	23
2	<u>Regningsmæssig brudstyrke</u>		
moment M_u^r , kNm	13.90	13.54	13.90
3	<u>Betontrykstyrke i prøvelegemernes (træk-, trykzone)</u>		
$(\sigma_{cyl}, \sigma'_{cyl})$, (MPa, MPa)	(20.7, 19.7) (15.2, 18.0)	(20.7, 19.7) (15.2, 18.0)	(16.1, 17.3) (18.2, 18.4)
$(\bar{\sigma}_{cyl}, V)$, (MPa, %)	(17.9, 21)	(17.9, 21)	(17.1, 9)
4	<u>Brudstadium ved forsøg</u>		
moment M_u^f , kNm	13.2 13.3	12.4 13.2	13.3* 13.8
(M_u^f, V) , (kNm, %)	(13.3, 0)	(12.8, 4)	(13.6, 3)
hovedjern $(\epsilon, \sigma)_u^f$, (% , MPa)	(110 , 765) (110 , 765)	(110 , 765) (110 , 765)	(70 , 745)* (110 , 765)
$(\bar{\sigma}_u^f, V)$, (MPa, %)	(765 , 0)	(765 , 0)	(755 , 2)
brudårsag	a a	a a	b* a
5	<u>Sammenligning</u>		
moment $\frac{\bar{M}_u^f}{M_u^r}$	0.96	0.94	0.98
hovedjern $\frac{\bar{\sigma}_u^f}{\sigma_u}$	1.00	1.00	0.99

* Se fotos på figur G3.

Tabel G7, Forsøgsresultater, statiske forsøg II

Forsøg	2.4	2.5	2.6
<u>Styrke af trækarmring</u>			
længdejern $(\epsilon, \sigma)_f$, (% , MPa)	(3-24, 630)	(2-30, 455)	(2-30, 455)
$(\epsilon, \sigma)_u$, (% , MPa)	(110 , 765)	(115 , 565)	(115 , 565)
svejsning P_a^h , kN	13	(12)	12
P_a^m , kN	(23)	20	(20)
<u>Regningsmæssig brudstyrke</u>			
moment M_u^r , kNm	13.54	10.43	10.16
<u>Betontrykstyrke i prøvelegemernes (træk-, trykzone)</u>			
$(\sigma_{cyl}, \sigma'_{cyl})$, (MPa, MPa)	{ (16.1, 17.3) (18.2, 18.4)	{ (17.4, 18.6) (21.1, 20.9)	{ (17.4, 18.6) (21.1, 20.9)
$(\bar{\sigma}_{cyl}, V)$, (MPa, %)	(17.1, 9)	(19.3, 14)	(19.3, 14)
<u>Brudstadium ved forsøg</u>			
moment M_u^f , kNm	{ 12.9 14.7	{ 10.0 9.8	{ 10.3 9.9
(M_u^f, V) , (kNm, %)	(13.8, 9)	(9.9, 2)	(10.1, 3)
hovedjern $(\epsilon, \sigma)_u^f$, (% , MPa)	{ (110 , 765) (110 , 765)	{ (115 , 565) (115 , 565)	{ (115 , 565) (115 , 565)
(σ_u^f, V) , (MPa, %)	(765 , 0)	(565 , 0)	(565 , 0)
brudårsag	{ a a	{ a a	{ a a
<u>Sammenligning</u>			
moment $\frac{M_u^f}{M_u^r}$	1.02	0.95	0.99
hovedjern $\frac{\sigma_u^f}{\sigma_u}$	1.00	1.00	1.00

Figur G3, Fotoserie taget i løbet af forsøg

1. enkeltforsøg i forsøg 2.3 (hovedarmering i venstre side).

Lasttrin 5

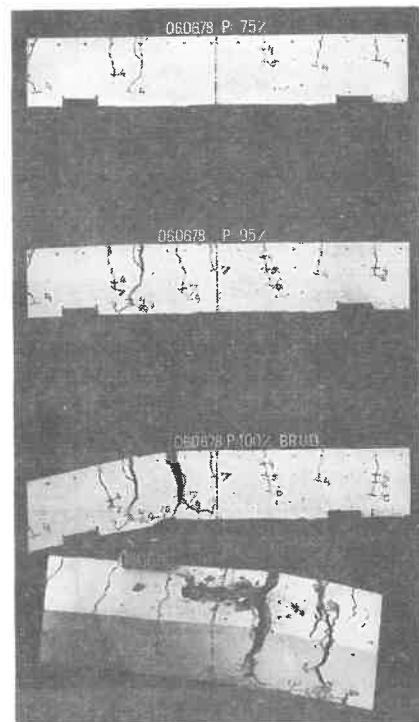
$$\begin{aligned} M &= 0.73 M_u^r \\ \epsilon_a &= 2 \text{ ‰} \\ \sigma_a &= 0.64 \sigma_u \end{aligned}$$

Lasttrin 9

$$\begin{aligned} M &= 0.91 M_u^r \\ \epsilon_a &\approx 45 \text{ ‰} \\ \sigma_a &\approx 0.93 \sigma_u \end{aligned}$$

Brud

$$\begin{aligned} M_u^f &= 0.96 M_u^r \\ \epsilon_u^f &\approx 70 \text{ ‰} \\ \sigma_u^f &\approx 0.97 \sigma_u \end{aligned}$$



Brudårsag b: Forankringssvigt 5 min. efter at lasttrin 10 er påført. Dæklagsbetonen er løsnet i hele stødzonen.

Vurdering af forsøgsresultaterne: Næsten alle prøvelegemerne * har opnået en fuldstændig forankring af de anvendte typer armeringsnet, således at selve hovedjernet er brudt ved indsnøring (brudårsag a), mens overlappingsstødet har kunnet modstå påvirkningen fra brudmomentet.

For stødsamlinger, der - for de anvendte typer armeringsnet - udformes som en af de to testede stødtyper (type 2 eller 3), er de nødvendige og tilstrækkelige overlappingslængder således givet i nedenstående tabel G8.

Tabel G8, Stødlængde l_s for armeringsnet med hovedjern: Ø 10 mm pr. 200 mm og tværjern: Ø 6 mm, betonkvalitet $\sigma_{cyl} = 19$ MPa og dæklagstykkelse $\delta = 10$ mm .

Tværjernsafstand m^t i mm	Stødlængde for hhv. Ks 42 S og Ks 56 S	
	$l_s(42)$ i mm	$l_s(56)$ i mm
100	260	280
200		350
400		400

* Et af de to prøvelegemer i forsøg 2.3 (stødsamling af type 2, hvor hovedjernene er nærmest betonoverfladen,) brød som følge af forankrings-svigt, da hovedjernet var forlænget ca. 70%.

Statistiske forsøg III

Denne forsøgsserie omfatter fem forsøg (3.1, 3.2, 3.5, 3.6, 3.7^{*}), der hver består af ($n^f =$) 2 eller 3 enkeltforsøg. De fem typer pladestrimler er alle udformet principielt som ved forsøg 1.2 eller 1.3 i de statistiske forsøg I: dvs pladerne har stødsamling af henholdsvis type 2 (med længdejern nærmest betonoverfladen) eller type 3 (med tværjern nærmest overfladen).

I nærværende forsøgsserie er længde- og tværjernenes dimensioner fordoblet til henholdsvis $\phi^l = 20$ mm og $\phi^t = 12$ mm. For at bibeholde tværarmeringsgraden $\varphi^t = 1.4\%$ **, som benyttes i de statistiske forsøg I, fordobles afstanden mellem tværjernene til $m^t = 400$ mm.

I forsøg 3.1 og 3.2, hvor stødsamlinger af henholdsvis type 2 og type 3 med dæklagstykkelse $\delta = 10$ mm testes, anvendes stødlængde $l_s = 700$ mm (dvs. $l_s = 35 \times \phi^l$ - som ved de statistiske forsøg I).

I de øvrige tre forsøg, hvor kun stødsamlinger af type 2 testes, øges stødlængden og dæklagstykkelse i forhold til forsøg 3.1.

Detailudformningen af de fem typer prøvelegemer er givet i tabel G9, der er udformet som tabel G1, G3 og G5 for de foregående statistiske forsøgsserie.

Forsøgsresultaterne, der ligeledes er angivet i tabelform som for de øvrige statistiske forsøg, findes i tabel G10 (forsøg 3.1 og 3.2) og G11 (forsøg 3.5, 3.6 og 3.7). Kommentarer til tabellernes inddelinger findes dels p.35-36 dels p.43.

På figur G4 - G8 er vist dels to serier af fotos fra (to) enkeltforsøg dels fotos, som er taget efter brud, i forbindelse med andre forsøg.

* De dynamiske forsøg II omfatter forsøg 3.3D og 3.4D.

** Definition findes i afsnit A: $\varphi^t = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{(\phi^t)^2}{m^t \cdot \phi^l}$

Tabel G9, Prøvelegemeudformning, statiske forsøg III

Forsøg	3.1	3.2	3.5	3.6	3.7
Skitse på fig.	A3	A4	A3	A3	A3
<u>Trækarmring</u>					
n ^h , stk	1	1	1	1	1
Ø ^l , mm	20	20	20	20	20
kvalitet	Ks 56 S	Ks 56 S	Ks 56 S	Ks 56 S	Ks 56 S
m ^l , mm	200	200	200	200	200
forbindelse	svejst	svejst	svejst	svejst	svejst
Ø ^t , mm	12	12	12	12	12
kvalitet	Ks 56 S	Ks 56 S	Ks 56 S	Ks 56 S	Ks 56 S
m ^t , mm	400	400	400	400	400
<u>Trykarmering</u>					
n', stk	3	3	3	3	4
Ø', mm	12	12	12	12	10
<u>Prøvestrækning</u>					
b, mm	300	295	300	300	300
l-2a, mm	2000	2000	2000	2000	2000
h _t , mm	395	395	400	400	400
λ ^l , mm	50	48	50	50	50
λ ^t , mm	50	50	50	50	50
l _s , mm	700	700	900	700	840
δ, mm	10	10	10	20	20
h, mm	375	363	380	370	370
h', mm	353	341	358	348	348

Tabel G10, Forsøgsresultater, statiske forsøg III

Forsøg	3.1	3.2
1 <u>Styrke af trækarmoring</u>		
længdejern $(\epsilon, \sigma)_f, (\%, \text{MPa})$	(3-16, 625)	(3-16, 625)
$(\epsilon, \sigma)_u, (\%, \text{MPa})$	(100, 775)	(100, 775)
svejsning P_a^h, kN	(33)	33
\bar{P}_a^m, kN	51	(38)
2 <u>Regningsmæssig brudstyrke</u>		
moment M_u^r, kNm	87.3	84.3
3 <u>Betontrykstyrke i prøvelegemernes (træk-, trykzone)</u>		
$(\sigma_{\text{cyl}}, \sigma'_{\text{cyl}}), (\text{MPa}, \text{MPa})$	(21.6, 22.3) (18.2, 16.5)	(21.6, 22.3) (17.0, 16.5)
$(\bar{\sigma}_{\text{cyl}}, V), (\text{MPa}, \%)$	(19.9, 12)	(19.3, 17)
4 <u>Brudstadium ved forsøg</u>		
moment M_u^f, kNm	$\left\{ \begin{array}{l} \approx 77 \\ 70.4^* \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 71.4 \\ 67.3 \end{array} \right.$
$(\bar{M}_u^f, V), (\text{kNm}, \%)$	(73.5, 6)	(69.4, 4)
hovedjern $(\epsilon, \sigma)_u^f, (\%, \text{MPa})$	$\left\{ \begin{array}{l} (34, 700) \\ (3, 625)^* \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} (26, 675) \\ (3, 625) \end{array} \right.$
$(\bar{\sigma}_u^f, V), (\text{MPa}, \%)$	(660, 8)	(650, 5)
brudårsag	$\left\{ \begin{array}{l} b \\ d^* \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} b \\ b \end{array} \right.$
5 <u>Sammenligning</u>		
moment $\frac{\bar{M}_u^f}{M_u^r}$	0.84	0.82
hovedjern $\frac{\bar{\sigma}_u^f}{\sigma_u}$	0.85	0.84

* Se fotos på figur G7.

Tabel G11, Forsøgsresultater, statiske forsøg III

Forsøg	3.5	3.6	3.7
<u>Styrke af trækarmring</u>			
længdejern $(\epsilon, \sigma)_f$, (‰, MPa)	(3-16,625)	(3-16,625)	(3-16,625)
$(\epsilon, \sigma)_u$, (‰, MPa)	(100,775)	(100,775)	(100,775)
svejsning P_a^h , kN	(23)	(24)	(29)
\bar{P}_a^m , kN	32	26	28
<u>Regningsmæssig brudstyrke</u>			
moment M_u^r , kNm	88.4	86.1	86.1
<u>Betontrykstyrke i prøvelegemernes (træk-, trykzone)</u>			
$(\sigma_{cyl}, \sigma'_{cyl})$, (MPa, MPa)	(18.9, 18.5) 19,5** (20.7, 21.9)	(22.0, 22.1) (25.6, 22.1) (21.1, 23.0)	(20.3, 21.4) (19.1, 20.9) (20.6, 21.7)
$(\bar{\sigma}_{cyl}, V)$, (MPa, ‰)	(19.7, 5)	(22.9, 10)	(20.0, 4)
<u>Brudstadium ved forsøg</u>			
moment M_u^f , kNm	88.0* 81.9 84.6	80.7 82.6* 76.4	81.9 83.5* 82.0
(\bar{M}_u^f, V) , (kNm, ‰)	(84.8, 4)	(79.9, 4)	(82.4, 1)
hovedjern $(\epsilon, \sigma)_u^f$, (‰, MPa)	(42, 720)* (34, 700) (≈ 40, 715)	(36, 705) (43, 725)* (32, 695)	(44, 725) (≈ 65, 760)* (≈ 50, 735)
$(\bar{\sigma}_u^f, V)$, (MPa, ‰)	(710, 2)	(705, 2)	(740, 2)
brudårsag	b* b b	b b* b	b b* b
<u>Sammenligning</u>			
moment $\frac{\bar{M}_u^f}{M_u^r}$	0.96	0.93	0.96
hovedjern $\frac{\bar{\sigma}_u^f}{\sigma_u}$	0.92	0.91	0.95

* Se fotos på hhv. figur G4, G5 og G8.

** Prøvecylindrene fra de to forskellige betonblandinger er blevet blandet og er derfor testet som en gruppe.

Figur G4, Fotoserie taget i løbet af forsøg

1. enkeltforsøg i forsøg 3.5 (hovedarmering i venstre side).

Lasttrin 5

$$\begin{aligned} M &= 0.75 M_u^r \\ \epsilon_a &= 3 \% \\ \sigma_a &= 0.69 \sigma_u \end{aligned}$$

Lasttrin 7

$$\begin{aligned} M &= 0.85 M_u^r \\ \epsilon_a &= 19 \% \\ \sigma_a &= 0.83 \sigma_u \end{aligned}$$

Lasttrin 8

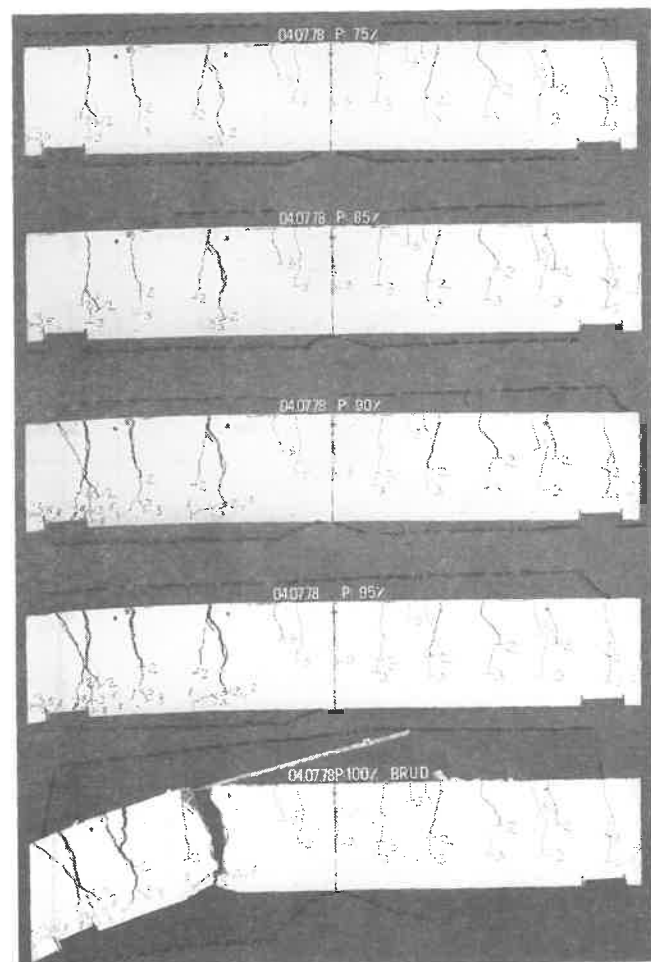
$$\begin{aligned} M &= 0.90 M_u^r \\ \epsilon_a &= 27 \% \\ \sigma_a &= 0.87 \sigma_u \end{aligned}$$

Lasttrin 9

$$\begin{aligned} M &= 0.95 M_u^r \\ \epsilon_a &\approx 35 \% \\ \sigma_a &\approx 0.91 \sigma_u \end{aligned}$$

Brud

$$\begin{aligned} M_u^f &= 1.00 M_u^r \\ \epsilon_u^f &\approx 42 \% \\ \sigma_u^f &\approx 0.93 \sigma_u \end{aligned}$$



Brudårsag b: Forankringssvigt 3 min. efter at lasttrin 10 er påført. Hovedjernet er vippet ud gennem dæklaget i hele stødzonen.

Figur G5, Fotoserie taget i løbet af forsøg

2. enkeltforsøg i forsøg 3.6 (hovedarmering i venstre side).

Lasttrin 6

$$\begin{aligned} M &= 0.79 M_u^r \\ \epsilon_a &= 3 \% \\ \sigma_a &= 0.81 \sigma_u \end{aligned}$$

Lasttrin 7

$$\begin{aligned} M &= 0.84 M_u^r \\ \epsilon_a &= 28 \% \\ \sigma_a &= 0.87 \sigma_u \end{aligned}$$

Lasttrin 8

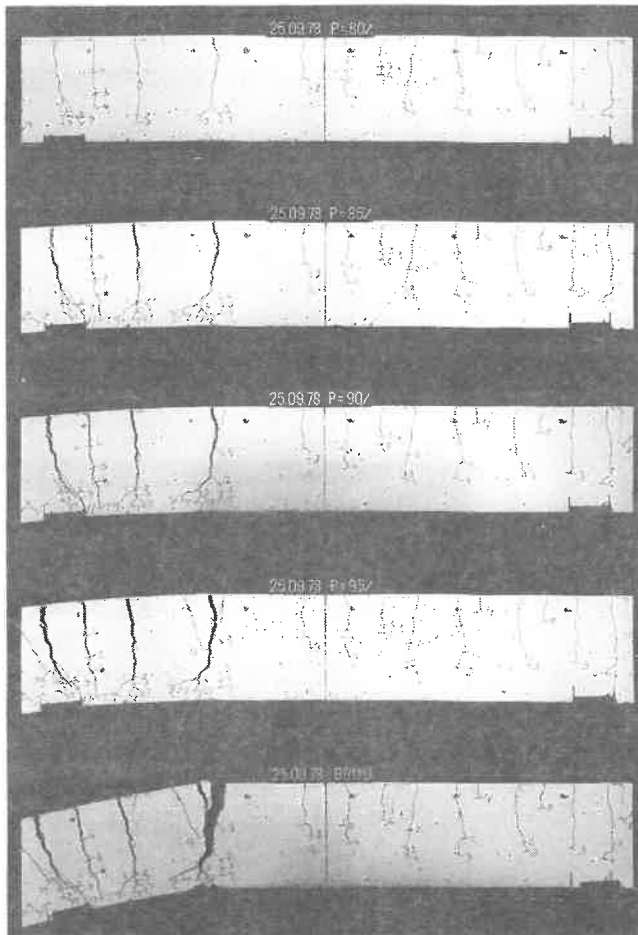
$$\begin{aligned} M &= 0.89 M_u^r \\ \epsilon_a &= 34 \% \\ \sigma_a &= 0.90 \sigma_u \end{aligned}$$

Lasttrin 9

$$\begin{aligned} M &= 0.94 M_u^r \\ \epsilon_a &= 42 \% \\ \sigma_a &= 0.93 \sigma_u \end{aligned}$$

Brud

$$\begin{aligned} M_u^f &= 0.96 M_u^r \\ \epsilon_u^f &\approx 43 \% \\ \sigma_u^f &\approx 0.93 \sigma_u \end{aligned}$$



Brudårsag b: Forankringssvigt. Dæklagsbetonen er gennemrevnet i hele stødzonen.

Figur G6, Fotos taget efter brud i pladestrimmel

a 1. enkeltforsøg i forsøg 3.2 (hovedarmering i højre side)

Brudårsag b: Forankringssvigt. Svejsningerne mellem hovedjern og tværjern er brudt, og dæklagsbetonen er løsnet i hele stødzonen.

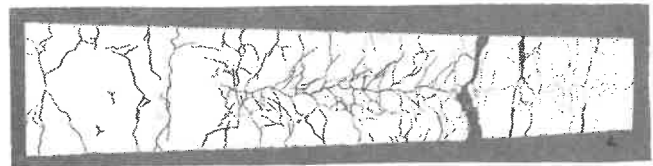
$$M_u^f = 0.85 M_u^r, (\epsilon, \sigma)_u^f = (26 \%, 0.87 \sigma_u)$$



b 1. enkeltforsøg i forsøg 3.6 (hovedarmering i venstre side)

Brudårsag b: Forankringssvigt. Dæklagsbetonen er gennemrevnet i hele stødzonen.

$$M_u^f = 0.94 M_u^r, (\epsilon, \sigma)_u^f = (36 \%, 0.91 \sigma_u)$$



c 2. enkeltforsøg i forsøg 3.7 (hovedarmering i højre side)

Brudårsag b: Forankringssvigt. Hovedjernet er vippet ud gennem dæklaget i hele stødzonen.

$$M_u^f = 0.97 M_u^r, (\epsilon, \sigma)_u^f = (\approx 65 \%, 0.98 \sigma_u)$$



Figur G7, Foto taget efter brud i pladestrimmel

2. enkeltforsøg i forsøg 3.1 (hovedarmering i højre side).

Brudårsag d: Forskydningsbrud i prøvelegemet udenfor prøvestrækningen.

$$M_u^f = 0.81 M_u^r, (\epsilon, \sigma)_u^f = (3 \text{ ‰}, 0.81 \sigma_u)$$



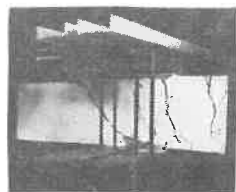
Figur G8, Fotos taget efter brud i pladestrimmel

2. enkeltforsøg i forsøg 3.7 er udført dels den 26. dels den 27. februar.

26.02.79 Forskydningsbrud i prøvelegemet udenfor prøvestrækningen (brudårsag d). $M_u^f = 0.85 M_u^r, (\epsilon, \sigma)_u^f = (\approx 35 \text{ ‰}, 0.90 \sigma_u)$

27.02.79 En ny forskydningszone etableres (foto a), og bøjeforsøget fortsættes, indtil brud indenfor prøvestrækningen opstår (foto b).

a



b



(Hovedarmering i højre side)

Brudårsag b: Forankringssvigt. Hovedjernet er vippet ud gennem dæklaget.

$$M_u^f = 0.97 M_u^r, (\epsilon, \sigma)_u^f = (\approx 65 \text{ ‰}, 0.98 \sigma_u)$$

Idet den registrerede brudårsag for næsten alle enkeltforsøg er forankringssvigt, er der i det følgende foretaget en nøjere sammenligning af forsøgsresultaterne; men før denne sammenligning er foretaget, er resultaterne bearbejdet, således at de fremtræder som i tabel G12 og kan bedømmes på et mere ensartet grundlag.

Variationer af prøvelegemernes betonkvalitet i trykzonen σ'_{cyl} giver anledning til minimale ændringer ($< 1\%$) af prøvelegemernes regningsmæssige brudstyrke $M_u^r(\sigma'_{cyl})$; men der er alligevel korri-
geret for dette, således at forskelle, som hidrører fra varierende kvalitet af betontrykzonen (σ'_{cyl}), er elimineret, mens betonkvaliteten af pladernes trækzone (σ_{cyl}) er uforandret, som angivet i tabel G12.

Idet det 2. prøvelegeme i forsøg 3.1 er brudt ved forskydningsbrud udenfor prøvestrækningen, og denne således ikke er blevet testet til brud, bør det hertil hørende forsøgsresultatet ikke umiddelbart sammenlignes med de øvrige resultater; forsøg 3.1 repræsenteres således kun af ét enkeltforsøg i tabel G12.

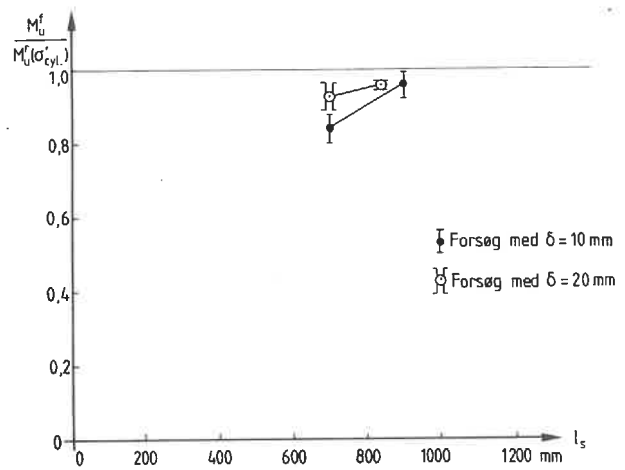
Idet resultaterne fra de statiske forsøg I og II på den ene side antyder, at stødsamlinger af type 2 er lidt svagere end stød - med samme overlappingslængde og dæklagstykkelse - af type 3 (jf. forsøg 1.2 og 1.3 samt forsøg 2.3 og 2.4), og resultaterne i nærværende forsøgsserie på den anden side svagt antyder, at forholdet imellem styrkerne af de to forskellige typer stød er omvendt her (jf. forsøg 3.1 og 3.2), er resultaterne for disse sidstnævnte forsøg behandlet som en gruppe i den nedenstående sammenligning.

På figur G9 og G10 er de bearbejdede forsøgsresultater henholdsvis $\frac{M_u^f}{M_u^r(\sigma'_{cyl})}$ og $\frac{\sigma_u^f}{\sigma_u}$ afbildet som funktion af stødlængden l_s ved angivelse af middelværdi og spredningsinterval.

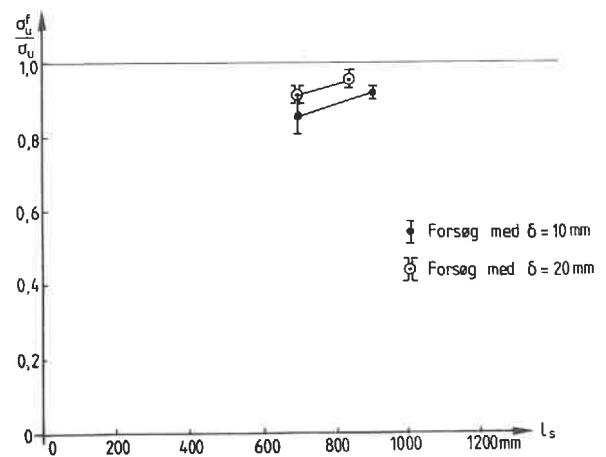
Tabel G12, Bearbejdede forsøgsresultater, statiske forsøg III

Forsøg	3.1 og 3.2	3.5	3.6	3.7
<u>Regningsmæssig brudstyrke</u>				
korrigeret for $\sigma'_{cyl} \neq 19 \text{ MPa}$				
$M_u^r(\sigma'_{cyl}), \text{ kNm}$	87.5 84.6 84.2	88.4 88.5 88.7	86.3 86.3 86.4	86.2 86.2 86.3
<u>Betontrykstyrke i prøvelegemernes trækzone</u>				
$\sigma_{cyl}, \text{ MPa}$	21.6 21.6 17.0	18.9 19.5 20.7	22.0 25.6 21.1	20.3 19.1 20.9
$\bar{\sigma}_{cyl}, \text{ MPa}$	20.1	19.7	22.9	20.0
$v, \%$	13	5	10	4
<u>Brudstadium ved forsøg</u>				
moment $M_u^f, \text{ kNm}$	≈ 77 71.4 67.3	88.0 81.9 84.6	80.7 82.6 76.4	81.9 83.5 82.0
hovedjern $\sigma_u^f, \text{ MPa}$	700 675 625	720 700 715	705 725 695	725 760 735
$\bar{\sigma}_u^f, \text{ MPa}$	665	710	705	740
$v, \%$	6	2	2	2
brudårsag	b b b	b b b	b b b	b b b
<u>Sammenligning</u>				
moment $\frac{M_u^f}{M_u^r(\sigma'_{cyl})}$	0.88 0.84 0.80	1.00 0.93 0.95	0.94 0.96 0.89	0.95 0.97 0.95
$\frac{M_u^f}{M_u^r(\sigma'_{cyl})}$	0.84	0.96	0.93	0.96
$\frac{M_u^f}{M_u^r(\sigma'_{cyl})}, \%$	5	4	4	1
hovedjern $\frac{\bar{\sigma}_u^f}{\sigma_u}$	0.86	0.92	0.91	0.95

Figur G9, Bearbejdede forsøgsresultater, statiske forsøg III



Figur G10, Bearbejdede forsøgsresultater, statiske forsøg III



Vurdering af forsøgsresultaterne er foretaget på basis af de bearbejdede forsøgsresultater i tabel G12 samt på figur G9 og G10. Disse resultater sammenholdes endvidere med resultater fra forsøg med plader med \emptyset 10 mm langedearmering.

Umiddelbart kan det konkluderes, at ingen af de testede stødsamlinger med \emptyset 20 mm hovedjern har en tilstrækkelig forankring, til at overføre trækkræfterne fra det ene net til det andet uden svækkelse af pladens bæreevne (brudmoment, baseret på indsnøring af langedearmeringen), og at den tilspidsende tendens, som de rette forbindelseslinier - mellem resultater fra forsøg med samme dæklagsstykkelse - udviser på figur G9, kan skyldes, at der ved forsøg 3.6 ($l_s = 700$ mm, $\delta = 20$ mm) er opnået en gunstigere forankring som følge af dette forsøgs (15%) stærkere trækzonebeton. Af figur G9 og G10 ses det endvidere, at dels er de afbildede dimensionsløse resultater af M_u^f og σ_u^f - , som begge viser, hvor nær man er ved opnåelse af fuld forankring af det testede net, - ikke overensstemmende, at dels er problemet med opnåelse af en fuldstændig forankring ikke lineært, idet de rette linier, der er indlagt mellem forsøgsresultaterne, ved ekstrapolation bagud ikke går gennem origo.

Dette sidstnævnte problem indikerer, at det ikke udelukkende er hovedjernenes trækpåvirkning af stødsamlingen, som er afgørende for udviklingen af et forankringsbrud, men også pladens deformationer i brudstadiet, fordi hovedjernene som følge af deres påtvungne bøjning vil virke som en slags brækjern, der sprænger dæklagsbetonen væk. Dette forhold, som i nærværende forsøgsserie var betydelig mere iøjefaldende end i de tidligere forsøg (jf. figur G6 respektive figur G2 og G3), skyldes, at der vil være større tøjninger i trækarmringens yderside (nærmest dæklaget) end i indersiden.

Når armeringsjernet imod slutningen af forsøget befinder sig i tøjningshærdningsområdet, hvor stålets arbejdskurve stadig er noget stigende, vil der til sådanne tøjningsforskelle svare en momentpåvirkning, som vil resultere i udadgående kræfter, der virker bortsprængende på dæklagsbetonen umiddelbart udenfor ar-

meringen. For en given krumning af et prøvelegeme og et givet spændings/tøjningsforhold i armeringen vil disse udadgående påvirkninger således blive otte gange så store, når prøvelegemet er armeret med \varnothing 20 mm hovedjern som med \varnothing 10 mm (på grund af det otte gange så store modstandsmoment).

I de foreliggende forsøg er krumningen af plader med \varnothing 20 mm armering - for en given tøjning - ca. halvt så stor som for plader med \varnothing 10 mm, fordi trækarmringens afstand fra nullinien er 1.6 gange så stor i det førstnævnte tilfælde. Derimod er der stort set samme spændings/tøjningsforhold i de forskellige armeringer, når bruddet nærmer sig ($\epsilon_a > 30 \%$).

Alt ialt er det således forståeligt, at forankringsbrud kan opstå forholdsmæssigt tidligere ved stødsamlinger med armeringsnet med de meget kraftige dimensioner hovedjern.

På grundlag af de ovennævnte vurderinger må det formodes, at fuld forankring af svejste armeringsnet med \varnothing 20 mm (Ks 56 S) længdejern i beton med $\sigma_{cyl} = 19$ MPa vil kunne opnås med følgende overlappingslængder:

$$l_s = 1200 \text{ mm } (60 \times \varnothing^1) \quad \text{for } \delta = 10 \text{ mm,}$$

$$l_s = 1000 \text{ mm } (50 \times \varnothing^1) \quad \text{for } \delta = 20 \text{ mm.}$$

Statistiske forsøg IV

I denne forsøgsserie -, som omfatter to forsøg (4.1 og 4.2), der hver består af ($n^f =$) 2 enkeltforsøg, - udføres der bøjeforsøg med hele pladefelter. I disse pladefelter, som nøje svarer til pladestrimlerne i henholdsvis forsøg 1.2 og 1.3 (stødsamling af type 2 respektive type 3 med stødlængde $l_s = 350$ mm), stødes ($n^h =$) 5 hovedjern med ($n^h + 1 =$) 6 modholdsjern, hvorved prøvelegemets bredde samtidigt må øges med ($\Delta n^h \times m^1 =$) 800 mm til $b = 1100$ mm, jf. fig. A3 respektive fig. A4.

Detailudformningen af de to typer prøvelegemer er givet i tabel G13, hvis opbygning er som tabel G3 for forsøg 1.1, 1.2 og 1.3.

Tabel G13, Prøvelegemeudformning, statiske forsøg IV

Forsøg	4.1	4.2
Udformning skitseret på fig.	A3	A4
<u>Trækarmring</u>		
hovedjern, antal jern n^h , stk	5	5
dimension \varnothing^l , mm	10	10
kvalitet	Ks 56 S	Ks 56 S
maskevidde m^l , mm	200	200
forbindelse ml. h.- og t.-jern	svejst	svejst
tverjern, dimension \varnothing^t , mm	6	6
kvalitet	Ks 56 S	Ks 56 S
maskevidde m^t , mm	200	200
<u>Trykarmring</u>		
trykjern, antal jern n' , stk	5	5
dimension \varnothing' , mm	10	10
<u>Prøvestrækning</u>		
bredde b , mm	1100	1100
længde $l-2a$, mm	1400	1400
pladetykkelse h , mm	250	250
lgd. af fri stangende λ^l , mm	50	50
lgd. af fri stangende λ^t , mm	25	25
stødlængde l_s , mm	350	350
dæktagstykkelse δ , mm	10	10
nyttehøjde h , mm	235	229
afst. ml. træk- og trykjern h' , mm	220	214

Forsøgsresultaterne er angivet i tabel G14. Brudårsagen for samtlige prøvelegemer var indsnøring af hovedjernene, hvilket betyder, at alle fem hovedjern i hvert prøvelegeme er udnyttet til brud: $(\epsilon, \sigma)_u^f = (\epsilon, \sigma)_u$. Dette medfører, at forsøgsresultater kan angives i en tabel magen til dem for de øvrige statiske forsøgsserier - på trods af, at der i forsøg 4.1 og 4.2 måles tøjninger på tre par af træk- og trykjern i målesnittet (de to yderste par og det midterste).

Kommentarer til tabel G14's inddeling findes dels p35-36 dels p 43.

På figur G11 er vist en serie fotos, som er taget ved det første enkeltforsøg i forsøg 4.1.

En sammenligning med figur G2, som viser fotos fra det tilsvarende forsøg med pladestrimler (forsøg 1.2), illustrerer det forhold: "at pladefelterne almindeligvis gennemrevner (revner til tværsnittets nullinie) i 3 eller 4 snit, mens de tilsvarende pladestrimler kun gennemrevner i 1 eller 2 snit". Dette skyldes hovedsagelig:

- 1 at pladefelternes prøvestrækning er 400 mm længere,
- 2 at pladefelternes brudproces er langsommere og mere sejt.

ad 1 Dette betyder, at hovedjernene har en 200 mm længere strækning at forlænges over. Denne længde svarer ret nøje til den almindelige revneafstand.

ad 2 Hvis et hovedjern flyder voldsomt i et snit, udviklede det sig ved de statiske forsøg I (og II) ret hurtigt til et fuldstændigt brud (indsnøring af jernet) i dette snit; men i pladefelterne var det tydeligt, at de øvrige hovedjern aflastede det hårdt påvirkede jern, således at en ny ligevægtstilstand - for den samme belastning - blev opnået, og det endelige brud måske kunne udvikles i et andet snit i pladen.

Ovennævnte to forhold medførte, at endeligt brud i pladefelterne først indtraf efter en større deformation af prøvestrækningen (0.15 - 0.20 rad) og da temmelig roligt, hvilket illustreres af, at det ved alle enkeltforsøg i denne forsøgsserie lykkedes at aflaste pladefeltet efter brud i nogle af hovedjernene; men inden brud var indtrådt i alle fem hovedjern.

Tabel G14, Forsøgsresultater, statiske forsøg IV

Forsøg	4.1	4.2
1 <u>Styrke af trækarmoring</u>		
længdejern $(\epsilon, \sigma)_f, (\%, \text{MPa})$	(3-24,570)	(3-24,570)
$(\epsilon, \sigma)_u, (\%, \text{MPa})$	(110,700)	(110,700)
svejsninger $\bar{P}_a^h, \text{ kN}$	(13)	13
$\bar{P}_a^m, \text{ kN}$	15	(15)
2 <u>Regningsmæssig brudstyrke</u>		
moment $M_u^r, \text{ kNm}$	63.0	61.4
3 <u>Betontrykstyrke i prøvelegemer- nes (træk-, trykzone)</u>		
$(\sigma_{\text{cyl}}, \sigma'_{\text{cyl}}), (\text{MPa}, \text{MPa})$	{ (24.7,23.9) (22.4,20.8)	{ (23.8,23.4) (23.8,21.4)
$(\bar{\sigma}_{\text{cyl}}, V), (\text{MPa}, \%)$	(23.6, 7)	(23.8, 0)
4 <u>Brudstadium ved forsøg</u>		
moment $M_u^f, \text{ kNm}$	{ 65.1* 61.9	{ 61.7 62.2
$(\bar{M}_u^f, V), (\text{kNm}, \%)$	(63.5, 4)	(62.0, 1)
alle hoved- jern $(\epsilon, \sigma)_u^f, (\%, \text{MPa})$	{ (110, 700)* (110, 700)	{ (110, 700) (110, 700)
$(\bar{\sigma}_u^f, V), (\text{MPa}, \%)$	(700, 0)	(700, 0)
brudårsag	{ a* a	{ a a
5 <u>Sammenligning</u>		
moment $\frac{\bar{M}_u^f}{M_u^r}$	1.01	1.01
hovedjern $\frac{\bar{\sigma}_u^f}{\sigma_u}$	1.00	1.00

* Se fotos på figur G11.

Figur G11, Fotoserie taget i løbet af forsøg

1. enkeltforsøg i forsøg 4.1 (hovedarmering i venstre side).

Lasttrin 6

$$\begin{aligned} M &= 0.79 M_u^r \\ \epsilon_a &= 2 \% \\ \sigma_a &= 0.64 \sigma_u \end{aligned}$$

Lasttrin 9

$$\begin{aligned} M &= 0.93 M_u^r \\ \epsilon_a &= 35 \%* \\ \sigma_a &= 0.87 \sigma_u^* \end{aligned}$$

Lasttrin 10

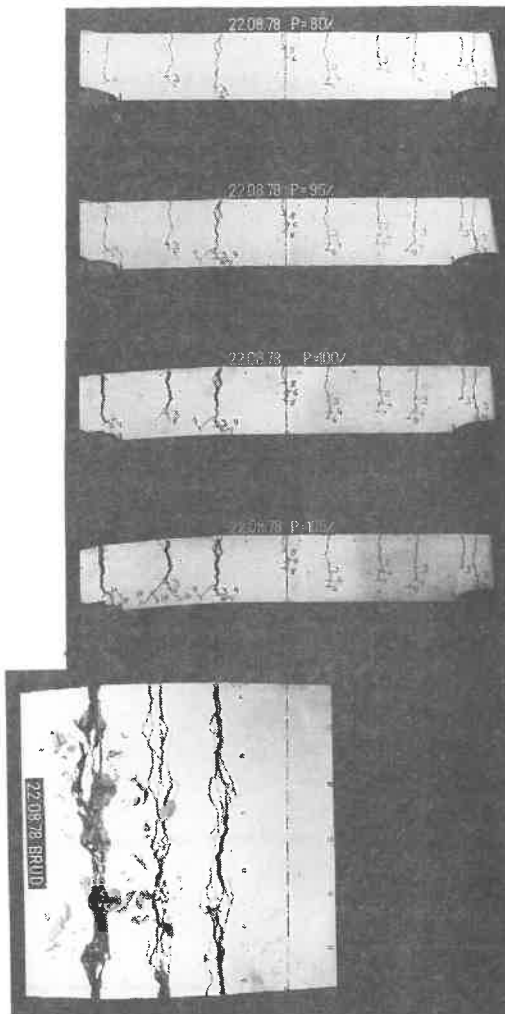
$$\begin{aligned} M &= 0.97 M_u^r \\ \epsilon_a &\approx 55 \%* \\ \sigma_a &\approx 0.93 \sigma_u^* \end{aligned}$$

Lasttrin 11

$$\begin{aligned} M &= 1.02 M_u^r \\ \epsilon_a &\approx 75 \%* \\ \sigma_a &\approx 0.96 \sigma_u^* \end{aligned}$$

Brud

$$\begin{aligned} M_u^f &= 1.03 M_u^r \\ \epsilon_u^f &\approx 110 \%** \\ \sigma_u^f &= 1.00 \sigma_u^{**} \end{aligned}$$



Brudårsag a: Indsnøring af hovedjern udenfor målesnittet.

* Registreret ved målesnittet.

** Registreret ved snittet, hvor bruddet opstod.

Vurdering af forsøgsresultaterne: Alle fire pladefelter har opnået en fuldstændig forankring af den anvendte type armeringsnet, således at bruddet skyldes indsnøring af længdejernene (brudårsag a), mens overlappingsstødet har kunnet modstå påvirkningen fra brudmomentet.

I de nærværende forsøg med hele pladefelter var styrken af trækzonebetonen σ_{cyl} dog ca. 15-20% højere end i de tilsvarende forsøg med pladestrimler; men da der ved et af de seks tilsvarende enkeltforsøg med pladestrimler (det 3. i forsøg 1.2) lige akkurat ikke blev opnået fuld forankring, jf. tabel G4, er der således ikke grund til at formode, at mange længdejern, som stødes i ét snit, skulle give mere ugunstige forhold ved brud, end det er tilfældet i de øvrige statiske forsøgsserier, hvor kun ét længdejern er stødt.

1) DYNAMISKE FORSØG

Formålet med de dynamiske forsøg, hvor pladestrimler i en fire-punktsbøjepstilling belastes med vekslende last (se figur F1), er, at teste om stødsamlinger, der for statisk bøjebelastning af prøvelegemet har en tilstrækkelig styrke, også er i stand til at modstå en udmattelsespåvirkning.

De dynamiske forsøg omfatter to forsøgsserier, der er nummereret med romertal I og II. Disse forsøg er i kraft af udformningen af prøvelegemer og forsøgsopstilling (se tabel F1) tæt knyttet til bestemte statiske bøjeforsøg med pladestrimler:

De dynamiske forsøg I (forsøg 1.4D - 1.7D) korresponderer med forsøg 1.2 og 1.3 i de statiske forsøg I.

De dynamiske forsøg II (forsøg 3.3D og 3.4D) korresponderer med forsøg 3.1 og 3.2 i de statiske forsøg III.

Belastningsniveau

For at fastlægge ved hvilke belastningsniveauer de dynamisk belastede plader skulle testes, beregnede Knud Bay (P.E.Malmstrøm A/S) aktuelle stålspændingsvariationer i Ks 56 pladearmering for tre typer byggeri:

- a bolig og kontor, pladetykkelse $h_t = 120 \text{ mm}$,
- b stormagasin, $h_t = 150 \text{ mm}$,
- c industri, $h_t = 230 \text{ mm}$.

Pladernes spændvidde er 4.50 m.

Den maksimale stålspænding findes for belastningen uden partial-koefficienter, iht. DS 411 p. V18 [4]:

$$1 \times \text{egenvægt} + 1 \times \text{bevægelig last},$$

den minimale stålspænding for:

$$1 \times \text{egenvægt} + 0 \times \text{bevægelig last}.$$

Herved fandtes følgende spændingsgab for de tre typer byggeri:

- a $\sigma_a = (245 \pm 77) \text{ MPa}$,
- b $\sigma_a = (216 \pm 92) \text{ MPa}$,
- c $\sigma_a = (177 \pm 111) \text{ MPa}$.

Tilspidsningsformlen, iht. DS 411 p. V10 [4]:

$\Delta\sigma_{a,max} = 0.6 \cdot \Delta\sigma_{a,min}$ viser, at den hårdeste udmattelsespåvirkning af armeringsjernene vil forekomme i industribyggeriet. Dette spændingsgab bliver derfor anvendt som grundlæggende belastningsniveau:

$$\sigma_a(1.00) = (177 \pm 111) \text{ MPa.}$$

Udmattelsesforsøgene med pladestrimler blev udført ved forskellige belastningsniveauer, hvis størrelse (Z_i) fås ved - for fastholdt middelspænding - at ændre amplituden:

$$\sigma_a(Z_i) = (177 \pm Z_i \cdot 111) \text{ MPa.}$$

Som nævnt i afsnit F angående prøvelegemernes belastningshistorie, var det ikke muligt, at holde spændingen i hovedjernet netop på de ønskede interval, idet jernet efter få hundrede pulsationer ikke kunne aflastes tilstrækkeligt (formodentlig på grund af betonsmuld i pladens revner. Prøvelegemerne blev belastet med trækzonen opad, jf. figur F1). Spændingsintervallet blev derfor løbende justeret, således at minimum spændingen i hovedjernet $\sigma_{a,min}$ blev holdt så lav som muligt, og den hertil hørende maksimumspænding $\sigma_{a,max}$ blev da, som tidligere nævnt, bestemt ud fra tilspidsningsformlen:

$$\Delta\sigma_{a,max} = 0.6 \cdot \Delta\sigma_{a,min}$$

Dynamiske forsøg I

Denne forsøgsserie omfatter fire bøjeforsøg med pladestrimler (1.4D, 1.5D, 1.6D, 1.7D), der hver består af ($n^f =$) 3 enkeltforsøg *; ialt 12 enkeltforsøg.

Forsøg 1.4D og 1.5D er udført for at udmattelsesprøve to typer stødsamlinger, som for en statisk påvirkning har den nødvendige og tilstrækkelige styrke, jf. forsøgresultaterne for forsøg 1.2 og 1.3 i forsøgsserien statiske forsøg I.

Der er anvendt hovedjern * med ret kraftige svejsninger til tværbjælbene i forsøg 1.4D og 1.5D, fordi dette ved udmattelsespåvirkning formodentlig vil være mere kritisk end svagere svejsninger, idet det er velkendt, at den statiske trækstyrke af armeringsstål, som benyttes i fabriksfremstillede (modstandssvejste) net, almindeligvis ikke ændres ved svejsningerne; men derimod mister stålet oftest en betydelig del af dets udmattelsestrækstyrke, fordi svejsningerne normalt forårsager hærninger - og dermed kærsvirvninger ved vekslende last - nær de påsvejste tværbjælbene.

På den anden side er der, som en øvre grænse for hvor godt svejste armeringsnet - med hensyn til trækudmattelsesstyrke af længdebjælbene - kan fremstilles, benyttet net uden svejsninger. Prøvelegemer med sådanne net, men i øvrigt udformet som prøvelegemerne i forsøg 1.4D og 1.5D er derfor testet i forsøg 1.6D og 1.7D.

Den principielle udformning af de fire typer pladestrimler, der alle har ($n^h =$) 1 hovedjern og ($n^h + 1 =$) 2 modholdsjern, er skitseret på figur A3 og A4. Detailudformningen er givet i tabel H1 i kraft af de indgående parametres størrelse:

1. Trækarmringens dimension, stål kvalitet og maskevidde for såvel længde- som tværbjælbene samt, hvorledes disse bjælbene er forbundet.
2. Trykarmeringens dimension.
3. Prøvestrækningens bredde, længde og højdemål (h' er centerafstanden mellem træk- og trykarmering).

* Definition af disse begreber findes i afsnit A: NOGLE DEFINITIONER.

Tabel H1, Prøvelegemeudformning, dynamisk forsøg I

Forsøg	1.4D	1.5D	1.6D	1.7D
Udformning skitseret på fig.	A3	A4	A3	A4
<u>Trækarmoring</u>				
hovedjern, antal jern n^h , stk	1	1	1	1
dimension \varnothing^l , mm	10	10	10	10
kvalitet	Ks 56 S	Ks 56 S	Ks 56 S	Ks 56 S
maskevidde m^l , mm	200	200	200	200
forbindelse ml. h- og t.-jern	svejst	svejst	bundet	bundet
tværjern, dimension \varnothing^t , mm	6	6	6	6
kvalitet	Ks 56 S	Ks 56 S	Ks 56 S	Ks 56 S
maskevidde m^t , mm	200	200	200	200
<u>Trykarmoring</u>				
trykjern, antal jern n' , stk	3	3	3	3
dimension \varnothing' , mm	10	10	10	10
<u>Prøvestrækning</u>				
bredde b , mm	295	295	295	295
længde $l-2a$, mm	1000	1000	1000	1000
pladetykkelse h_t , mm	250	250	250	250
lgd. af fri stangende λ^l , mm	48	48	48	48
lgd. af fri stangende λ^t , mm	25	25	25	25
stødlængde l_s , mm	350	350	350	350
dæklagstykkelse δ , mm	10	10	10	10
nyttehøjde h , mm	235	229	235	229
afst. ml. træk- og trykjern h' , mm	220	214	220	214

Som det fremgår ved en sammenligning af denne tabel med tabel G3 (for de statiske forsøg I), er prøvelegemeudformningerne nøjagtig den samme i forsøg 1.2 og 1.3 som i henholdsvis forsøg 1.4D og 1.5D, og den eneste forskel mellem disse (to) udformninger og de to, som benyttes i henholdsvis forsøg 1.6D og 1.7D, er forbindelsesmidlet mellem hoved- og tværjern: I de to sidstnævnte forsøg er armeringsnettene ikke svejste; men længde- og tværjern er holdt sammen med tynd bindetråd.

I nærværende forsøgsserie er pladestrimlerne blevet testet ved et eller flere af de følgende fire belastningsniveauer Z_i :

$$\sigma_a(Z_i) = (177 \pm Z_i \cdot 111) \text{ MPa, hvor}$$

$$Z_i = \{0.87, 1.05, 1.24, 1.43\}$$

Men inden disse pladeforsøg blev udført, er udmattelsesstyrken for ren trækpåvirkning af de anvendte \varnothing 10 mm hovedjern bestemt ved forsøg med (3-5 stk) prøvelegemer med en 120 mm prøvestrækning. Når hovedarmeringen er skåret ud af et svejst net, har prøvelegemerne ét (\varnothing 6 mm) tværjern placeret midt på prøvestrækningen. Disse énaksede trækudmattelsesforsøg er udført i ABK's 10 Mp højfrekvenspulsator med 110-130 Hz ved følgende belastningsniveauer Z_i :

$$\sigma_a(Z_i) = (177 \pm Z_i \cdot 111) \text{ MPa, hvor}$$

$$Z_i = \{1.05, 1.24, 1.43\}$$

Forsøgsresultaterne for nærværende forsøgsserie er angivet i tabel H2, i tabel H3 og på figurerne H2 - H5.

I tabel H2 er angivet trækarmeringens styrker, således:

- 1 Statisk trækstyrke af længdejern.
- 2 Afskydningsstyrke af svejsninger mellem længde- og tværjern P_a .
- 3 Udmattelsestrækstyrke af hovedjern.

- ad 1 Stålets flydespænding σ_f og dets brudspænding σ_u er anført, jf. tabel 2.1 i bilag 2.
- ad 2 Styrken af svejsninger er angivet - som ved de statiske forsøg I - dels for hovedarmeringsnet dels for modholdsarmering, henholdsvis h og m som øvre indices, se tabel 4.3 i bilag 4.
Når armeringen er bundet, sættes $P_a = 0$.
For de stykker armeringsnet, hvor tværjernene er udeladt i stødzonen, er afskydningsstyrkerne angivet i parentes.
- ad 3 Der er angivet, hvor mange pulsationer n_i de enkelte trækprøvelegemer har kunnet tåle ved de forskellige belastningsniveauer Z_i , samt prøvelegemernes brudårsag: enten udmattelsesbrud i hovedjernnet, hvor bruddet er initieret fra tværjernets svejsning (foto af et sådant brud findes på figur H1), eller intet brud for den angivne belastning, jf. bilag 5.

Figur H1, Foto af udmattelsesbrud i Ø 10 mm kamstål



Tabel H2, Styrke af trækarmring, dynamiske forsøg I

Forsøg, hvor ar- meringen benyttes	Længdejern		Svejsning		Udmattelse af hovedjern			
	σ_f	σ_u	P_a^h	\bar{P}_a^m	$Z_1 = 0.87$	$Z_2 = 1.05$	$Z_3 = 1.24$	$Z_4 = 1.43$
	MPa	MPa	kN	kN	n_1 10^6 stk	n_2 10^6 stk	n_3 10^6 stk	n_4 10^6 stk
1.4D	630	755	(19)	18		8.7 0.7* 9.2	2.1 1.4*	0.5*
1.5D	630	755	17	(20)		0.9* 0.9* 1.4*		
1.6D	630	755	(0)	16		10.0 10.9 12.8	13.4 7.6 15.5	14.4** 82.1** 18.2**
1.7D	630	755	0	(18)				32.1** 10.0**

* Udmattelsesbrud i hovedjernet, bruddet er initieret fra tværjernet svejsning.

** Brud i prøvelegemet er ikke opnået for den angivne belastning.

I tabel H3 er angivet resultater fra hvert enkeltforsøg med pladestrimler:

- 1 Betontrykstyrke i pladens trækzone.
- 2 Data for forsøget omfattende:
 1. antal pulsationer n_i , som pladen har kunnet tåle ved belastningsniveau Z_i ,
 2. pladens brudårsag.
- ad 1 Betonstyrken, der er målt ved trykstyrken af mindst tre prøvecylindre σ_{cyl} , er angivet dels ved enkeltforsøgets start (primo) dels ved dets slutning (ultimo).
- ad 2.1 Belastningsniveauet har været som angivet i tabellen, mens hovedjernets spændingsgab $\sigma_{a,min} - \sigma_{a,max}$ har været som vist på figur H2-H5.
- ad 2.2 Der er registreret to brudårsager:
 - A: Udmattelsesbrud i hovedjernet. Bruddet er initieret fra et svejst tværjern.
 - B: Udmattelsesbrud i hovedjernet. Bruddet er initieret fra en af jernets kamme.

Hovedjernets spændingsgab $\sigma_{a,min} - \sigma_{a,max}$ er på figur H2-H5 vist som funktion af antal pulsationer n_i for hvert enkeltforsøg. Til sammenligning er det tilstræbte spændingsinterval skitseret øverst på hver figur. Det ses af figurerne, at middelspændingen er større ved alle forsøgene end det er tilstræbt, til gengæld er spændingsamplituden tilsvarende mindre, således at det ønskede belastningsniveau er opnået.

På figur H6 er vist fotos, som er taget efter brud i det første enkeltforsøg i forsøg 1.4D, til illustration af en revneudvikling, som er typisk for denne forsøgsseries pladestrimler.

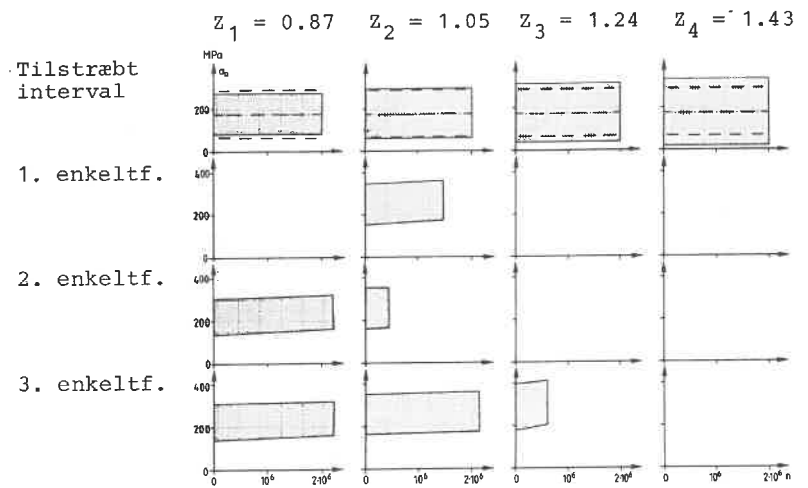
Tabel H3, Forsøgsresultater, dynamiske forsøg I

Forsøg	Betontrykstyrke i pladens trækzone		Udmattelse af pladestrimmel				brud- årsag
	primo	ultimo	$z_1 = 0.87$	$z_2 = 1.05$	$z_3 = 1.24$	$z_4 = 1.43$	
	σ_{cyl}	σ_{cyl}	n_1	n_2	n_3	n_4	
	MPa	MPa	10^6 stk	10^6 stk	10^6 stk	10^6 stk	
1.4D	20.3	< 22.0		1.47			A*
	16.3	19.1	2.20	0.46			A
	18.4	22	2.22	2.14	0.60		A
1.5D	≥ 22.2	< 23.9		0.50			A
	18.8	22.1	2.00	0.85			A
	18.5	< 20.7	2.00	0.64			A
1.6D	< 18.4	20	2.24	2.00	0.33		B
	18.2	< 20.7		2.24	2.07		B
	18.7	22		2.30	2.00	2.18	**
1.7D	< 21.3	23	2.00	2.00	2.00	0.05	B
	19	21		2.00	2.00	1.10	B
	20.4	< 21.4			2.00	0.37	B

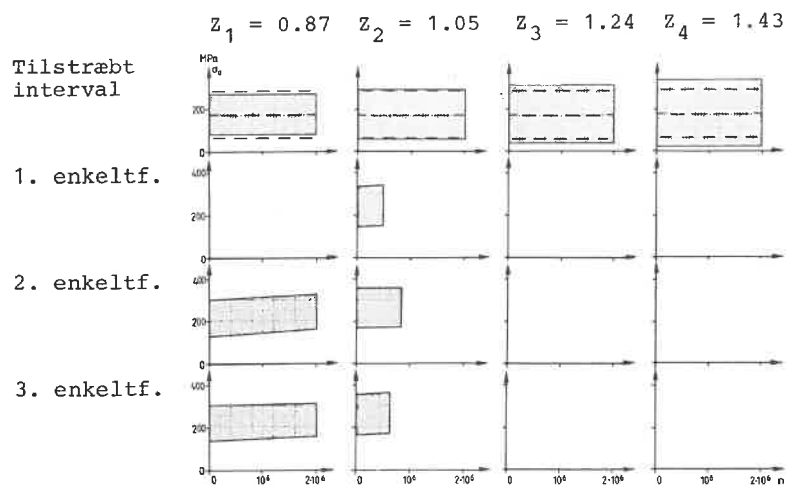
* Se prøvelegemets revneudvikling på figur H6.

** Brud i pladestrimlen er ikke opnået for den angivne belastning.
Der er indtruffet udmattelsesbrud i strain-gagene.

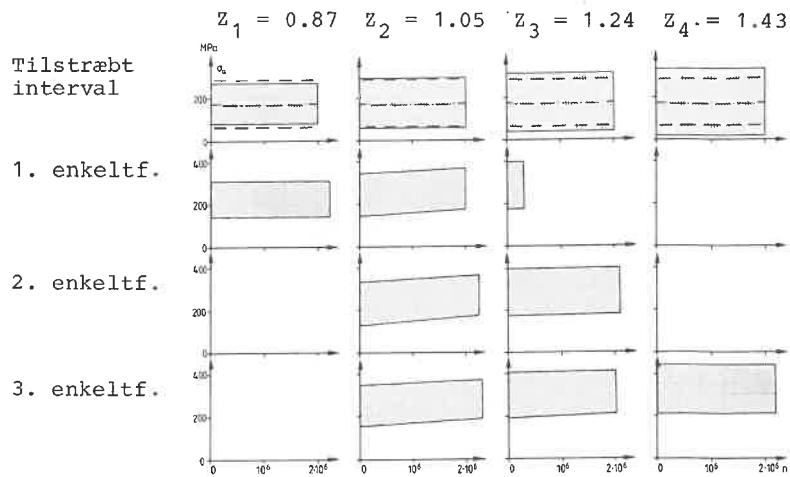
Figur H2, Spændingsinterval i hovedjern, forsøg 1.4D



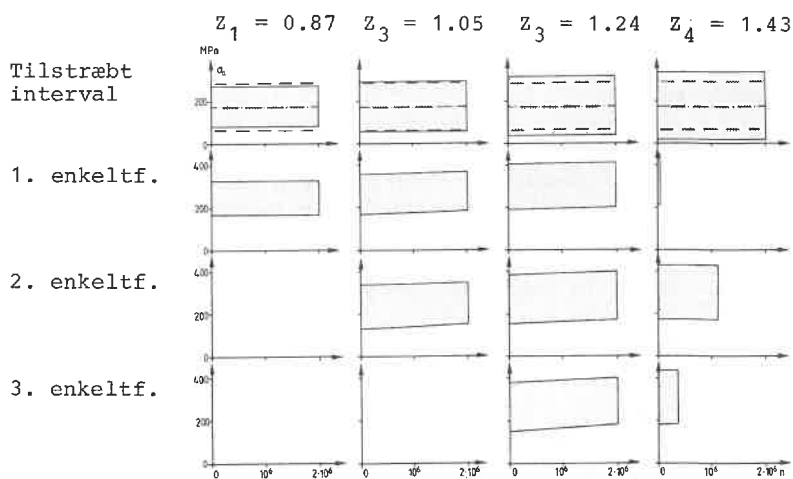
Figur H3, Spændingsinterval i hovedjern, forsøg 1.5D



Figur H4, Spændingsinterval i hovedjern, forsøg 1.6D



Figur H5, Spændingsinterval i hovedjern, forsøg 1.7D



Figur H6, Revneudvikling ved dynamiske forsøg

1. enkeltforsøg i forsøg 1.4D (hovedarmering i venstre side)
Brudårsag A: Udmattelsesbrud i hovedjernet ved det første
(svejste) tværjern udenfor stødzonen.



Vurdering af forsøgsresultaterne: Alle prøvelegemerne har opnået en fuldstændig forankring af den anvendte type svejst armeringsnet, således at hovedjernet er brudt som følge af udmattelse, mens de to testede typer overlappingsstød (type 2 og type 3) har kunnet modstå den påførte udmattelsespåvirkning.

En sammenligning af forsøg 1.4D og 1.5D med forsøg 1.6D og 1.7D viser:

at man kunne ønske sig, at svejsninger mellem to stykker kamstål kunne udføres således, at hældninger (og dermed kærve) undgås.

Forsøg 1.6D og 1.7D viser:

at selv når svejsninger er udført uden hældninger, vil de testede typer stødsamlinger være tilstrækkelig modstandsdygtige overfor en meget betydelig udmattelsespåvirkning (blandt andet fordi jernets kamme giver anledning til kærve).

Ved en sammenligning mellem tabel H2 og tabel H3 ses det:

dels at den rene udmattelsestrækstyrke for de svejste hovedjern omtrent er som den udmattelsesstyrke, der er registreret ved pladeforsøgene (forsøg 1.4D og 1.5D), dels at dette ikke er tilfældet for hovedjernene uden svejste tværjern, idet den rene udmattelsestrækstyrke er noget højere end den, der er registreret ved pladeforsøgene (forsøg 1.6D og 1.7D).

Kun ved forsøg 1.6D og 1.7D har det tilsyneladende været af afgørende betydning, at længdejernene foruden den betydelige trækpåvirkning er udsat for et bøjende moment som følge af pladens krumning.

Dynamiske forsøg II

I denne forsøgsserie, som omfatter to bøjeforsøg med pladestrimler (3.3D og 3.4D, der hver består af kun ét enkeltforsøg), testes to prøvelegemer, som oprindeligt blev fremstillet med henblik på at skulle indgå i de statiske forsøg III (i henholdsvis forsøg 3.1 og 3.2).

Detailudformningen af de to prøvelegemer -, som er angivet i tabel H4, der er udformet som tabel H1 for de dynamiske forsøg I, - er som følge heraf identisk med udformningen benyttet i henholdsvis forsøg 3.1 og 3.2, jf. tabel G9.

Nærværende forsøgsseries (to) pladestrimler er testet ved kun ét belastningsniveau, $Z_1 = 1.00$:

$$\sigma_a = (177 \pm 111) \text{ MPa} .$$

Udmattelsesstyrken for ren trækpåvirkning af de anvendte Ø 20 mm hovedjern er ikke bestemt.

Forsøgsresultaterne for de to (enkelt)forsøg er angivet i tabel H5 og på figur H7.

Tabellen er udformet som tabel H2 og H3 (for de dynamiske forsøg I) - bortset fra, at

dels er pkt. 3 fra tabel H2 (udmattelsestrækstyrke af hovedjern) udeladt,

dels er pkt. 1 fra tabel H3 reduceret, idet betontrykstyrken af pladens trækzone kun er bestemt ved enkeltforsøgenes start (primo).

Kommentarer til inddelingerne i tabel H5 findes således p 78 og 80

Figur H7 viser - ligesom H2 - H5 for de dynamiske forsøg I - hovedjernets spændingsinterval $\sigma_{a,min} - \sigma_{a,max}$ således:

dels det tilstræbte interval

dels de ved forsøgene registrerede intervaller.

Tabel H4, Prøvelegemeudformning, dynamiske forsøg II

Forsøg	3.3D	3.4D
Udformning skitseret på fig.	A3	A4
<u>Trækarmring</u>		
hovedjern, antal jern n^h , stk	1	1
dimension ϕ^l , mm	20	20
kvalitet	Ks 56 S	Ks 56 S
maskevidde m^l , mm	200	200
forbindelse ml. h.- og t.-jern	svejst	svejst
tverjern, dimension ϕ^t , mm	12	12
kvalitet	Ks 56 S	Ks 56 S
maskevidde m^t , mm	400	400
<u>Trykarmring</u>		
trykjern, antal jern n' , stk	3	3
dimension ϕ' , mm	12	12
<u>Prøvestrækning</u>		
bredde b , mm	300	295
længde $l-2a$, mm	2000	2000
pladetykkelse h_t , mm	395	395
lgd. af fri stangende λ^l , mm	50	48
lgd. af fri stangende λ^t , mm	50	50
stødlængde l_s , mm	700	700
dæklagstykkelse δ , mm	10	10
nyttehøjde h , mm	375	363
afst. ml. træk- og trykjern h' , mm	353	341

Tabel H5, Forsøgsresultater, dynamiske forsøg II

Forsøg	Styrke af trækarmoring				Betonstyrke i pladens trækzone σ_{cyl} MPa	Udmattelse af plad	
	længdejern		svejsning			$Z_1 = 1.00$	brud- årsag
	σ_f	σ_u	P_a^h	\bar{P}_a^m			
	MPa	MPa	kN	kN			
3.3D	625	775	(33)	51	≈ 22.5	1.14	A*
3.4D	625	775	33	(38)	≈ 22.1	0.68	A*

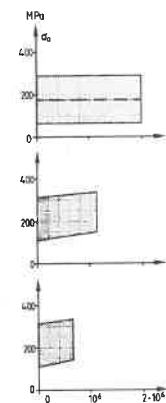
Figur H7, Spændingsinterval i hovedjern, dynamiske forsøg II

Belastningsniveau: $Z_1 = 1.00$, dvs. $\sigma_a = (177 \pm 111)$ MPa

Tilstræbt interval

Forsøg 3.3D

Forsøg 3.4D



* Udmattelsesbrud i hovedjernet. Bruddet er initieret fra et svejst tværjern. Dette er - som ved de dynamiske forsøg I - kaldet brudårsag A.

Vurdering af forsøgsresultaterne: Begge prøvelegemer har opnået en fuldstændig forankring af den anvendte type armeringsnet, således at hovedjernet er brudt som følge af udmattelse; mens de to testede typer overlappingsstød (type 2 og type 3) har kunnet modstå den påførte udmattelsespåvirkning.

Dette skal sættes i relation til, at de testede stødsamlinger med stødlængde $l_s = 700$ mm og dæklagstykkelse $\delta = 10$ mm ikke har en tilfredsstillende styrke for en statisk bøjebelastning, jf. resultaterne for de statiske forsøg III.

(I) OVERSIGT OVER RESULTATER

I de fire oversigtstabeller I1 - I4 er der i kortfattet form samlet forsøgsbetingelser og -resultater for samtlige de 61 bøjeforsøg med pladeformede prøvelegemer, som er udført i nærværende projekt *.

Det bemærkes at målet for, hvornår fuld forankring af de svejste net er opnået, er sat ekstremt højt ved de statiske forsøg, i kraft af følgende to forhold:

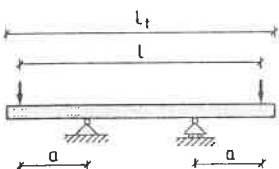
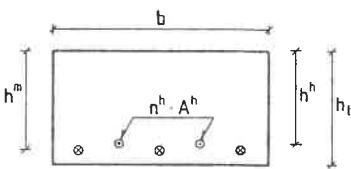
For det første kræves der, at der opstår egentlig trækbrud i armeringsstålet udenfor stødzonen, hvorfor der forekommer store deformationer i prøvelegemet: pladen krummer betydeligt, idet trækarmeringen forlænges ca. 100 %, jf. kolonne 22 i tabel I3.

For det andet er - ved den valgte udformning af prøvelegemerne - den vandrette afstand fra hoved- til modholdsjern stor i stødzonen (100 mm), således at armeringens trækraft må overføres gennem en relativt lang strækning af betonen.

Når der ses bort fra pilotforsøgsserien (forsøg 0.1, 0.2 og 0.3), har det førstnævnte forhold imidlertid medført en - i forhold til almindelig praksis - lille armeringsgrad af prøvelegemerne (jf. kolonne 13 i tabel I2), primært som følge af de store pladetykkelser (sammenlign kolonne 7 med kolonne 11 og 12). Disse pladetykkelser var nødvendige, for at de yderste betonstringere i pladernes trykzone ikke skulle bryde i forbindelse med pladens krumning.

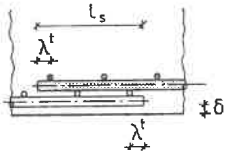
* På siderne efter disse tabeller er der en liste med bemærkninger hertil.

Tabel I1, Oversigtstabel 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Forsøg 1)	<u>Forsøgsopstilling</u>			<u>Prøvestrækning</u>			
							
	l_t	l	a	$l-2a$	b	h_t	h^h
	m	m	m	mm	mm	mm	mm
0.1 0.2 0.3	}	2.9	2.60	0.80	{	1000	98
						1000	92
						1000	98
1.1 1.2 1.3 1.4D 1.5D 1.6D 1.7D	}	2.9	2.60	0.80	{	1000	218
						1000	235
						1000	229
						1000	235
						1000	229
						1000	235
						1000	229
2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6	}	2.9	2.60	0.80	{	1000	235
						1000	229
						1000	235
						1000	229
						1000	235
						1000	229
3.1 3.2 3.3D 3.4D 3.5 3.6 3.7	}	4.5	4.00	1.00	{	2000	375
						2000	363
						2000	375
						2000	363
						2000	380
						2000	370
						2000	370
4.1 4.2	}	3.4	3.00	0.80	{	1400	235
						1400	229

1) Se bemærkning p95.

Tabel I2, Oversigtstabel 2

1	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Forsøg	Armeringsnet samt armeringsgrader							Stødsamling				
												
			hovedarmering			tværarmering						
	stålkval. Ks..S s/b ²⁾	n ^h stk	ø ¹ mm	φ ^{h 3)} %	m ^t mm	φ ^{t 4)} %	5) type	λ ^t mm	l _s mm	δ mm		
0.1	56	s	1	10	0.40	200	1.4	1	}	20	260	10
0.2	56	s	1	10	0.43	200	1.4	1'				
0.3	56	b	1	10	0.40	200	1.4	1				
1.1	56	s	1	10	0.18	200	1.4	1	}	25	350	10
1.2	56	s	1	10	0.11	200	1.4	2				
1.3	56	s	1	10	0.12	200	1.4	3				
1.4D	56	s	1	10	0.11	200	1.4	2				
1.5D	56	s	1	10	0.12	200	1.4	3				
1.6D	56	b	1	10	0.11	200	1.4	2				
1.7D	56	b	1	10	0.12	200	1.4	3				
2.1	56	s	1	10	0.11	400	0.7	2	}	25	400	10
2.2	56	s	1	10	0.12	400	0.7	3				
2.3	56	s	1	10	0.11	100	2.8	2				
2.4	56	s	1	10	0.12	100	2.8	3				
2.5	42	s	1	10	0.11	200	1.4	2				
2.6	42	s	1	10	0.12	200	1.4	3				
3.1	56	s	1	20	0.28	400	1.4	2	}	50	700	10
3.2	56	s	1	20	0.29	400	1.4	3				
3.3D	56	s	1	20	0.28	400	1.4	2				
3.4D	56	s	1	20	0.29	400	1.4	3				
3.5	56	s	1	20	0.28	400	1.4	2				
3.6	56	s	1	20	0.28	400	1.4	2				
3.7	56	s	1	20	0.28	400	1.4	2				
4.1	56	s	5	10	0.15	200	1.4	2	}	25	350	10
4.2	56	s	5	10	0.16	200	1.4	3				

2) - 5) Se bemærkninger p95.

Tabel I3, Oversigtstabel 3

1	20	21	22	23	24	25	26
Forsøg	<u>Styrker</u>						
	længdejern				svejsning		beton
	σ_f MPa	σ_u MPa	ϵ_u %	$\frac{\sigma_f}{\sigma_{ak}}$ 6)	P_a^h kN	$\frac{P_a^h}{P_a}$ 7)	σ_{cyl} 8) MPa
0.1 0.2 0.3	}	590	710	120	1.05	{	{
1.1 1.2 1.3 1.4D 1.5D 1.6D 1.7D	}	630	755	110	1.12	{	{
2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6	}	630	765	110	1.12	{	{
3.1 3.2 3.3D 3.4D 3.5 3.6 3.7	}	625	775	100	1.12	{	{
4.1 4.2	}	570	700	110	1.02	{	{

6) - 8) Se bemærkninger p95.

Tabel I4, Oversigtstabel 4

1	27	28	29	30	31	32	33
Forsøg (og antal af enkeltforsøg)	n ^f stk	Brudstadielastning				Brudårsag	
		bøjende moment			hovedjern		12)
		$M_u^f(\sigma_{cyl}^f)^{10)}$ kNm	M_u^f kNm	$M_u^f(\sigma_{cyl}^f)$ kNm	σ_u^f MPa	σ_u^f MPa	
0.1	3	5.10	4.26	0.84	610	0.86	c,c,e
0.2	3	4.77	4.51	0.95	635	0.89	e,c,e
0.3	3	5.11	4.70	0.92	615	0.87	b,b,e
1.1	3	12.54	12.8	1.02	755	1.00	a,a,a
1.2	3	13.74	14.3	1.04	750	0.99	a,a,b
1.3	3	13.39	14.2	1.06	755	1.00	a,a,a
1.4D	3	11)	11)	11)	11)	11)	A,A,A
1.5D	3	11)					A,A,A ¹³⁾
1.6D	3	11)					B,B ¹³⁾
1.7D	3	11)					B,B,B
2.1	2	13.90	13.3	0.96	765	1.00	a,a
2.2	2	13.54	12.8	0.94	765	1.00	a,a
2.3	2	13.85	13.6	0.98	755	0.99	b,a
2.4	2	13.49	13.8	1.02	765	1.00	a,a
2.5	2	10.42	9.9	0.95	565	1.00	a,a
2.6	2	10.15	10.1	0.99	565	1.00	a,a
3.1	1 ⁹⁾	87.5 ⁹⁾	77 ⁹⁾	0.88 ⁹⁾	700 ⁹⁾	0.90 ⁹⁾	b ⁹⁾
3.2	2	84.4	69.4	0.82	650	0.84	b,b
3.3D	1	11)	11)	11)	11)	11)	A
3.4D	1	11)					A
3.5	3	88.5	84.8	0.96	710	0.92	b,b,b
3.6	3	86.3	79.9	0.93	705	0.91	b,b,b
3.7	3	86.2	82.4	0.96	740	0.95	b,b,b
4.1	2	63.5	63.5	1.00	700	1.00	a,a
4.2	2	61.8	62.0	1.00	700	1.00	a,a

9) - 13) Se bemærkninger p96.

Bemærkninger til oversigtstabellerne

Tabel I1

kolonne

- 1) 1 D markerer, at pladerne belastes dynamisk, dvs. udmattelsestestes. I de øvrige forsøg er belastningen statisk, trinvis stigende til brud.

Tabel I2

- 2) 10 Forbindelsen mellem hovedarmeringens længde- og tværjern er enten svejst (s) eller bundet (b).
- 3) 13 $\varphi^h = \frac{n^h \cdot A^h}{b \cdot h^h}$, hvor A er tværsnitsarealet af et jern.
- 4) 15 $\varphi^t = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{(\varnothing^t)^2}{m^t \cdot \varnothing^t}$, iht. definitionen i afsnit A.
- 5) 16 De forskellige typer af stødsamlinger er tegnet på figur A1 - A4 i afsnit A.

Tabel I3

- 6) 23 σ_{ak} er den karakteristiske armeringstrækstyrke i henhold til DS 411 [4].
- 7) 25 \bar{P}_a for et almindeligt svejst kamstålsnet er skønnet ud fra et fyldigt statistisk materiale, jf. bilag 3:
- $\bar{P}_a = 15.8 \text{ kN}$ for de anvendte typer af net med $\varnothing 10 \text{ mm}$ længdejern.
- \bar{P}_a for net med $\varnothing 20 \text{ mm}$ (Ks56S) længdearmering er ikke bestemt med tilsvarende sikkerhed, men ligger formodentlig mellem 25 og 35 kN.
- 8) 26 σ_{cyl} , der er trykstyrken af betonen i pladernes trækzone, er for de dynamiske forsøg angivet dels ved forsøgets start dels ved dets slutning.

Tabel I4

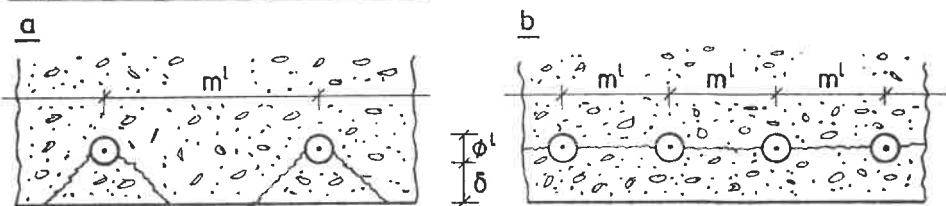
kolonne

- 9) 27-33 Forsøg 3.1 er kun repræsenteret ved det enkeltforsøg, hvor et bøjningsbrud er indtruffet, jf. forsøgsresultater for de statiske forsøg III.
- 10) 28 $M_u^r(\bar{\sigma}'_{cyl})$ er forsøgets regningsmæssige brudmoment, som er beregnet på grundlag af forsøgets middelcylinderstyrke i pladernes trykzone $\bar{\sigma}'_{cyl}$; men en korrektion for de varierende styrker af trækzonebetonen $\bar{\sigma}_{cyl}$ (kolonne 26) er ikke foretaget, jf. tabel 7.4 i bilag 7.
- 11) 28-32 Brudstadiebelastningen for de dynamiske forsøg, som findes i afsnit H, kan ikke passes ind i nærværende oversigtstabel; men for alle disse enkeltforsøg er brudårsagen tilfredsstillende, jf. bemærkning ¹²⁾ og ¹³⁾.
- 12) 33 Brudårsagen, som er angivet for hvert enkeltforsøg, er inddelt i følgende grupper:
- a: Indsnøring af hovedjern.
b,c: Forankringsbrud.
e: Betontrykbrud.
A,B: Metaltræthedbrud i hovedjern.
- Brudårsagerne a, A og B må anses som tilfredsstillende idet stødsamlingen har kunnet tåle den påførte belastning.
- Brudårsag b og c, som skyldes en utilstrækkelig styrke af selve stødsamlingen, er ikke tilfredsstillende.
- Brudårsag e, som skyldes en uhensigtsmæssig udformning af prøvelegemet, er heller ikke tilfredsstillende
- 13) 33 Forsøget er afbrudt, inden brud i pladen er opnået. Prøvelegemet har været udsat for en hårdere belastning end samtlige de øvrige plader, der har været udmattelsestestet, hvilket må anses for et tilfredsstillende resultat.

I alle de testede net har centerafstanden mellem længdejernene været ($m^1 =$) 200 mm, hvilket har medført en forankringsbrudform, som skitseret på figur I1a.

Når man reducerer denne afstand, vil en brudform, som skitseret på figur I1b, kunne blive afgørende.

Figur I1, Forankringsbrudformer



Hvis betonens trækstyrke er den samme ved de to forskellige typer revners dannelse, er grænsetilfældet karakteriseret ved at:

$$m^1 \approx 2\left(\frac{\phi^1}{2} + \sqrt{2}\left(\frac{\phi^1}{2} + \delta\right)\right) \approx 2.4 \phi^1 + 2.8 \delta$$

For at sikre, at brudformen bliver som på figur I1a, må man da kræve at:

$$m^1 \geq 2.5 \phi^1 + 3 \delta$$

Denne betingelse er ført ind i nedenstående tabel I5.

På baggrund af forsøgsresultaterne fra nærværende projekt og de hertil hørende konklusioner, som findes i forbindelse med omtalen af de enkelte forsøgsserier i afsnit G og H, kan man bestemme den nødvendige og tilstrækkelige overlappingslængde for stødsamlinger (af de testede typer, jf. figur A1 - A4), som angivet i nedenstående tabel I5.

Tabel 15, Nødvendig og tilstrækkelig stødlængde l_s

Betingelse: $\sigma_{cyl} \approx 20 \text{ MPa}$ *

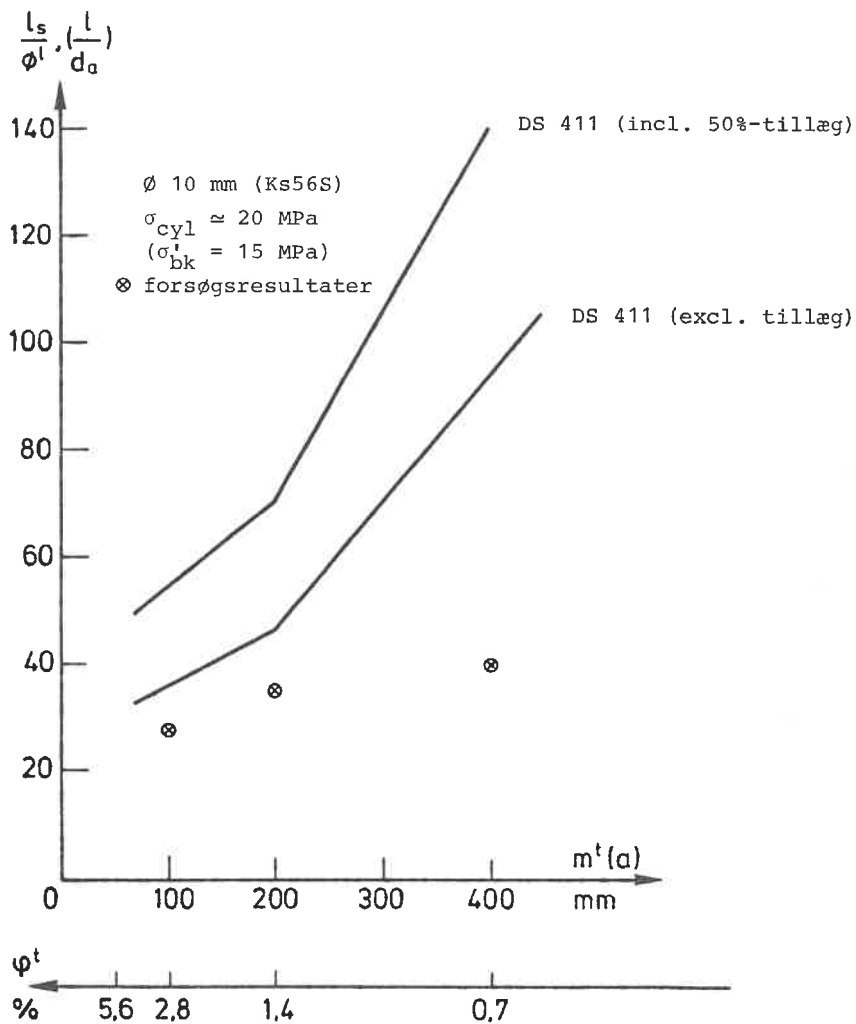
Længdejern	φ^t %	m^l mm	Type af stødsaml.	δ mm	$\frac{l_s}{\varphi^l}$
Ø 10 mm (Ks42S)	1.4	≥ 55	2 el. 3	10	26
Ø 10 mm (Ks56S)	0.7	≥ 55	2 el. 3	10	40
	1.4	≥ 55	$\left\{ \begin{matrix} 1', & 1', \\ 2 & \text{el. } 3 \end{matrix} \right\}$	10	35
	2.8	≥ 55	2 el. 3	10	28
Ø 20 mm (Ks56S)	1.4	≥ 80	2 el. 3	10	60
	1.4	≥ 110	2 el. 3	20	50

* $\sigma_{cyl} = 20 \text{ MPa}$ svarer ved almindelig god udførelse til $\sigma'_{bk} \leq 15 \text{ MPa}$.

På figur I2 er de nødvendige stødlængder $(\frac{l_s}{l})$ for $\varnothing 10$ mm (Ks56S) afsat som funktion af tværjernenes $\frac{l}{\varnothing l}$ afstand (m^t).

Til sammenligning hermed er kravet iht. DS 411 dels excl. dels incl. 50%-tillægget vist: $\frac{l_s}{d_a}$ som funktion af a for $\sigma'_{bk} = 15$ MPa.

Figur I2, Stødlængde som fkt. af grad af tværarmring



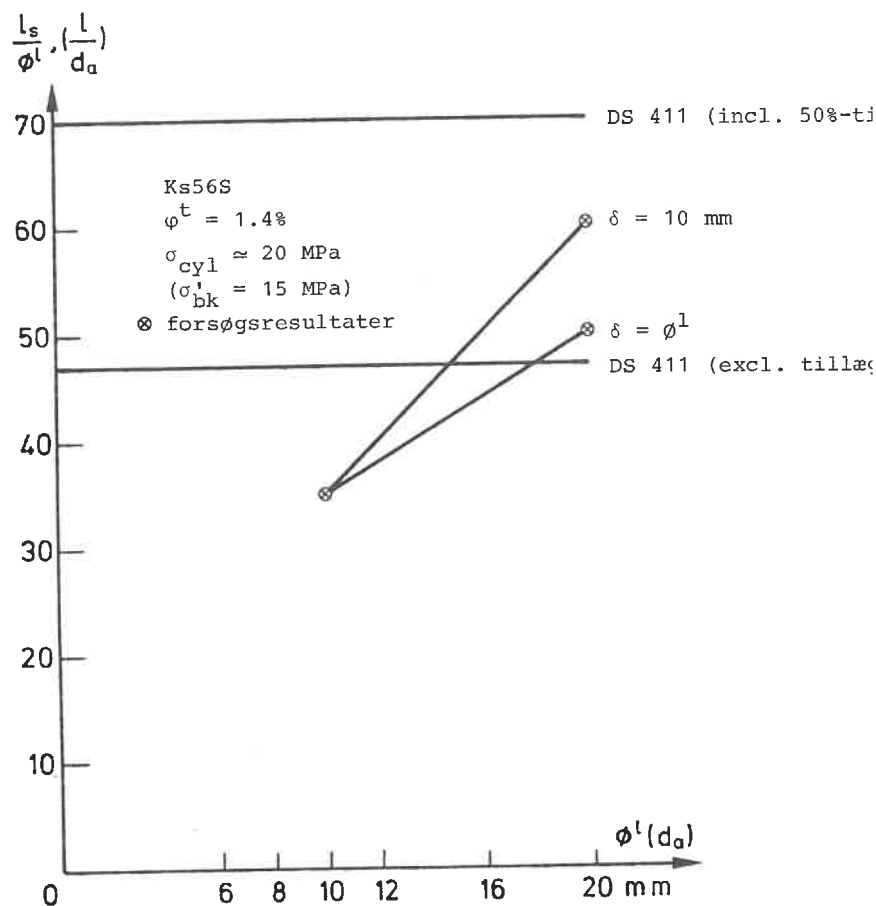
På figur I3 er de nødvendige stødlængder for Ks56S armering for $\varphi^t = 1.4\%$ afsat som funktion af hovedjernenes dimension, og resultaterne er forbundet med retliniede forbindelseskurver:

dels for $\delta = 10 \text{ mm}$

dels for $\delta = \varphi^l$

Til sammenligning hermed er kravet iht. DS 411 dels excl. dels incl. 50%-tillægget vist: $\frac{l_s}{\varphi^l}$ som funktion af d_a for $\sigma'_{bk} = 15 \text{ MPa}$.

Figur I3, Stødlængde som fkt. af hovedjernsdimension



Ved det Tekniske Universitet i Braunschweig er der udført en lang række lignende pladeforsøg, som er omtalt i Deutscher Ausschuss für Stahlbeton [6].

Når resultaterne fra disse forsøg afbildes svarende til figur I3, fremkommer en krum kurve, som for små dimensioner er næsten parallel med x-aksen - ligesom DS 411's krav -, og som for større dimensioner viser en stigende tendens - ligesom nærværende sags resultater.

Da udformningen af prøvelegemerne i de tyske forsøg på væsentlige punkter afviger fra vore, må en nøjere sammenligning af forsøgsresultater foretages med forsigtighed.

(J) RESUME OG KONKLUSIONER

Der er udført i alt 47 statiske bøjeforsøg med pladeformede prøvelegemer, hvis principielle udformning er vist på figur A1 - A4, samt 14 udmattelsesforsøg med plader af udformning som vist på figur A3 og A4.

De fælles karakteristika for alle prøvelegemerne er:

1. afstanden mellem længdejernene er ($m^1 =$) 200 mm,
2. tværjernenes diameter er 60% af længdejernenes ($\phi^t = 0.6 \phi^1$) og
3. middelcylindertrykstyrken af den anvendte beton er ca. 20 MPa.

Dimensionerne på de anvendte armeringsnettyper med henholdsvis ϕ 10 mm og ϕ 20 mm hovedjern fremgår af ovennævnte figurer og tabel I2.

De fleste prøvelegemer var pladestrimler, hvor et enkelt hovedjern blev stødt med et eller to modholdsjern, men der er også udført (statistiske) forsøg med brede plader, hvor fem hovedjern og seks modholdsjern stødes i samme bælte tværs hen over plademidten, som det fremgår af figurerne A3, A4 og G11.

De samlede resultater fra de statiske forsøg fremgår af tabel I1 - I4. Generelt kan det siges, at der med de valgte forsøgsbetingelser (betonkvalitet, dæklagstykkelse δ , tværarmeringsgrad ϕ^t * m.m.) for ϕ 10 mm hovedjern opnås fuld forankring for en stødlængde på ca. 350 mm ved $\phi^t = 1.4\%$ (f.eks. ϕ 6 pr. 200 mm) jævnt stigende til stødlængde ca. 400 mm ved $\phi^t = 0.7\%$ (f.eks. ϕ 6 pr. 400 mm), se figur I2.

Ved net med ϕ 20 mm hovedjern og $\phi^t = 1.4\%$ har der været forsøg med stødlængde 700 og 900 mm (med $\delta = 10$ mm dæklag) og stødlængde 700 og 840 mm (med $\delta = 20$ mm). I ingen af tilfældene opnåedes hel fuld forankring, hvilket formodentlig må tilskrives det specielle forhold, at det meget kraftige hovedjern forårsager afsprængning af dæklaget umiddelbart over armeringen på sidste del af forsøget hvor pladen krummes meget kraftigt. Bruddet indtrådte dog ved dis

* Definition af ϕ^t findes i afsnit A.

se forsøg på et meget sent tidspunkt - ved henholdsvis ca. 83 til 94% (for $\delta = 10$ mm) og ca. 92 til 96% (for $\delta = 20$ mm) af forventet brud ved fuld forankring, - således at det ud fra de samlede resultater synes forsvarligt at konkludere, at fuld forankring her ville være opnået ved stødlængder på henholdsvis 1200 mm (for $\delta = 10$ mm) og 1000 mm (for $\delta = 20$ mm dæklag).

Det er herudfra, at de anviste stødlængder for fuld forankring skal ses, således som angivet i tabel I5 og på figur I3.

De dynamiske forsøg er udført både med $\emptyset 10$ og $\emptyset 20$ mm hovedjern, men alle med stødlængde $35 \times \emptyset^1$ (hhv. 350 og 700 mm), $\phi^t = 1.4\%$ og dæklagstykkelse 10 mm, se iøvrigt tabel I2. Generelt viser disse forsøg, at det ikke - selv ved meget kraftig udmattelses-påvirkning, og selv om alle armeringsjern i pladen stødes i samme snit - er muligt at frembringe forankringsbrud, idet hovedjernene bryder i udmattelse udenfor forankringszonen. Selv i tilfælde hvor der som hovedarmering blev anvendt almindeligt $\emptyset 10$ mm kamstål uden påsvejste tværsjern, og hvor det derfor var muligt at sætte udmattelses-påvirkningerne op på et ca. 30% højere niveau ($\sigma_{\min} - \sigma_{\max} = 180 - 430$ MPa imod 170 til 360 MPa ved de svejste net) var det ikke muligt at frembringe forankringsbrud i overlappingsstødet.

På baggrund af de foreliggende forsøgsresultater kan det hermed konkluderes, at normens krav til overlappingslængden mellem to svejste ribbestålsnet er meget konservative, når de tre nedenstående betingelser er opfyldt:

- a. Længdejernenes diameter ($\emptyset^1 =$) $d_a \leq 12$ mm.
- b. Afstanden mellem længdejernene er mindst $2.5 d_a + 3 \delta$, hvor δ er dæklagstykkelsen.
- c. Styrken af den benyttede beton er ikke specielt høj $\sigma'_{bk} \leq 20$ MPa.

Disse betingelser er almindeligvis opfyldt for pladsstøbte konstruktioner, og det vil derfor nok være rimeligt at ændre normens krav, så en bedre økonomi opnås, uden at konstruktionernes sikkerhed svækkes.

Forslag 1, Ændring af DS 411 p. 41

Kravet om en 50% forøgelse af stødlængden ved stød af alle jern inden for samme stødlængde slettes for svejste armeringsnet, hvor betingelse b er opfyldt.

Forslag 2, Ændring af DS 411's tabel 7.2.3

Det første af de to krav til ribbestålsarmering ($\frac{1 \cdot \sigma_{bk}}{d_a \cdot \sigma_{ak}} \geq \frac{0.09}{\zeta}$) ændres til:

$$\frac{1 \cdot \sigma_{bk}}{d_a \cdot \sigma_{ak}} \geq \begin{cases} \frac{0.07}{\zeta} & \text{for } d_a \leq 10 \text{ mm} \\ \frac{0.02 + 0.005 d_a}{\zeta} & \text{for } \begin{cases} 10 \text{ mm} \leq d_a \leq 20 \text{ mm} \\ \text{og } \delta = 10 \text{ mm} \end{cases} \\ \frac{0.04 + 0.003 d_a}{\zeta} & \text{for } \begin{cases} 10 \text{ mm} \leq d_a \leq 20 \text{ mm} \\ \text{og } \delta \geq d_a \end{cases} \end{cases}$$

hvor: d_a indsættes i mm i ligningernes højre sider,
 δ er dæklagstykkelsen,
 samt betingelse b er opfyldt.

Bibeholdelse af det andet krav til ribbestålsarmering:

$$\frac{1}{d_a} \geq \frac{30}{\zeta}$$

medfører at nærværende forslag kun får betydning når betingelse c er opfyldt.

Forslag 3, Ændring af DS 411 p. V35 og V37

Afsnittet under tabel V7.2.3 p. V35 ændres til:

Forankrings- eller stødlængden kan reduceres såfremt tværarmeringen bestemt iht. formel (V7.2.4.1) øges. Der kan regnes med, at en tredobling af tværarmeringen medfører, at stødlængden kan nedsættes til 75 pct. af den i normen angivne værdi. For mellemliggende værdier kan interpoleres retliniet.

På p. V37 ændres linie 4 og 5 f.o. til:

Såfremt forankrings- eller stødlængden gøres større end foreskrevet kan "ovennævnte rette linie ekstrapoleres".

Alternativ til forslag 2, Ændring af DS 411

De to krav til ribbestålsarmering bibeholdes med tilføjelse af nedenstående to nye begrænsninger:

$$\begin{array}{l} d_a \leq 14 \text{ mm, når } 10 \text{ mm dæklagstykkelse benyttes,} \\ d_a \leq 16 \text{ mm, } \left\{ \begin{array}{l} \text{når dæklagstykkelsen mindst er lig} \\ \text{med hovedjernets diameter } d_a. \end{array} \right. \end{array}$$

(Betingelse b skal også være opfyldt).

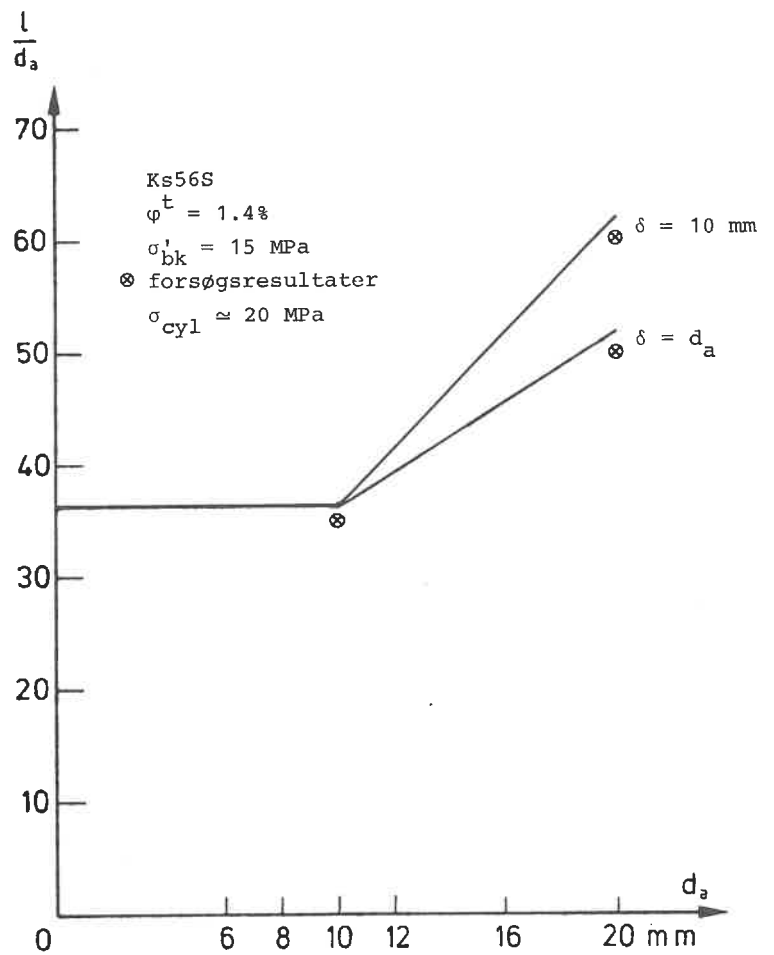
På figur J1 er nærværende sags forsøgsresultater optegnet sammen med kravene iht. forslag 1 og 2.

Figur J2 illustrerer tilsvarende forslagene 1 og alt. 2.

Forslag 3 er illustreret på figur J3, hvor forsøgsresultaterne er sammenholdt med kravene iht. dels forslag 1, 2 og 3 dels forslag 1, alt. 2 og 3.

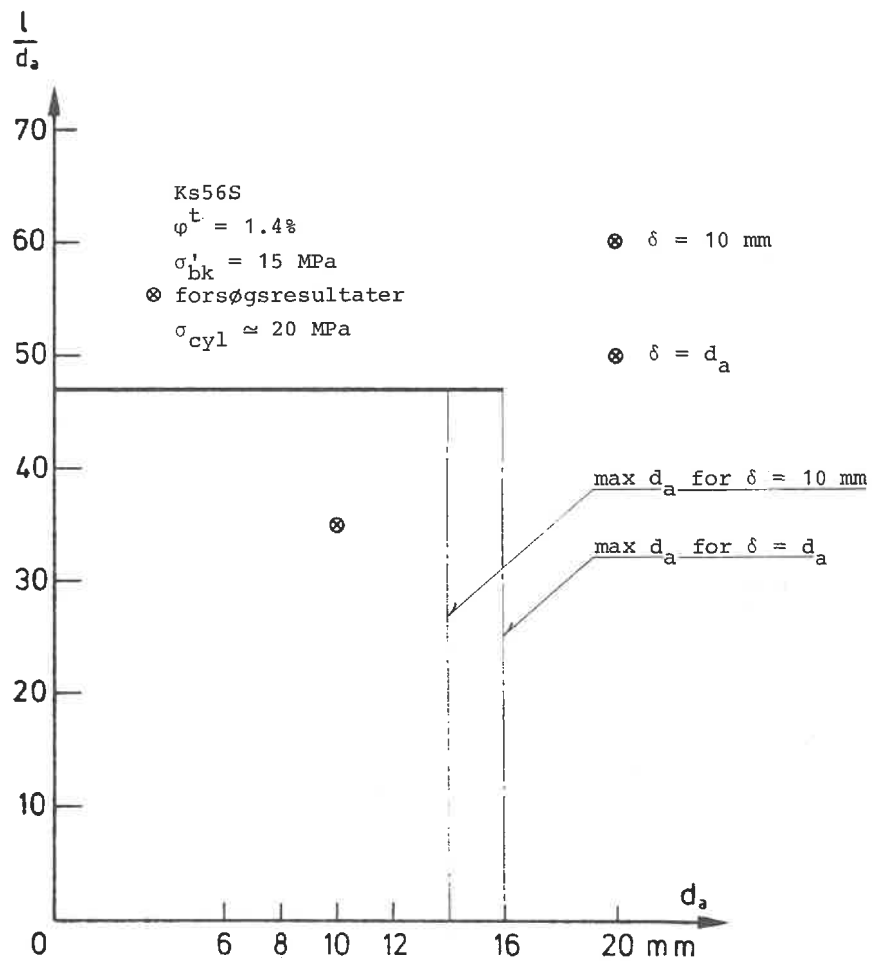
Figur J1, Forslag 1 og 2 til:

Stødlængde som fkt. af hovedjernsdimension



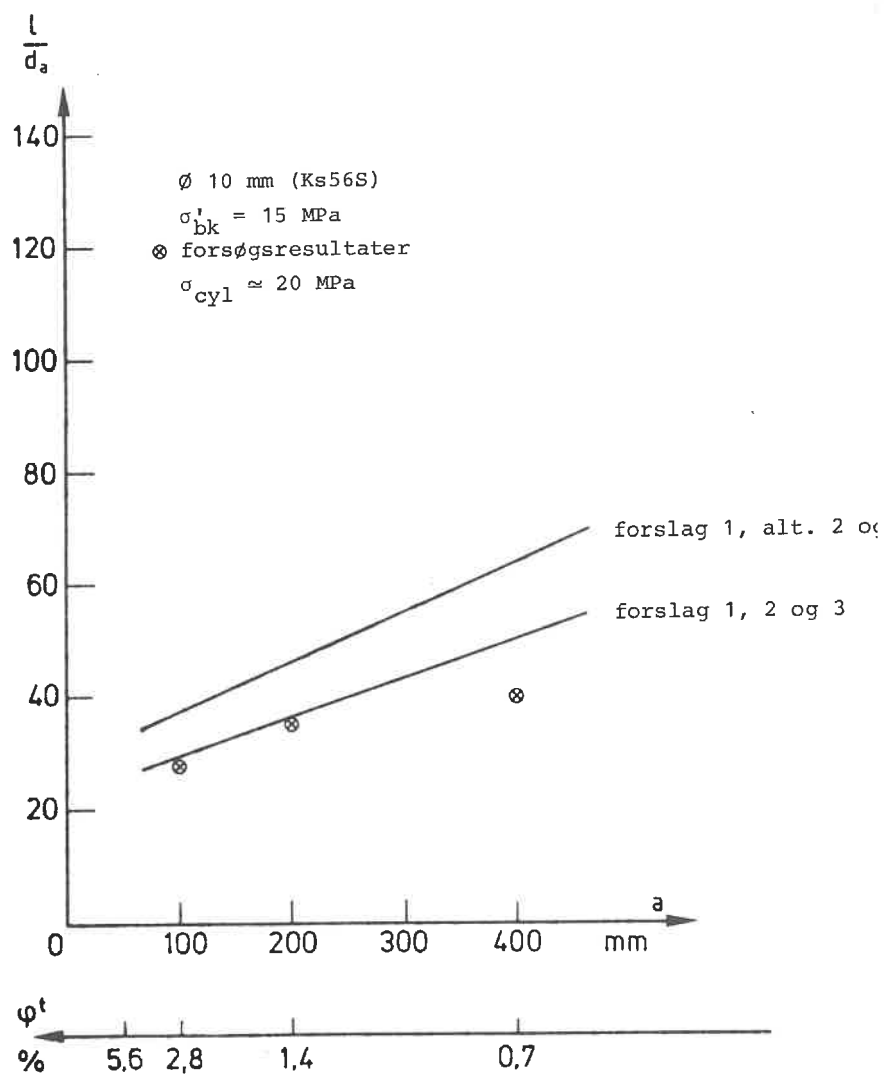
Figur J2, Forslag 1 og alt. 2 til:

Stødlængde som fkt. af hovedjærnsdimension



Figur J3, Forslag 3 til:

Stødlængde som fkt. af grad af tværarmering



K) LITTERATUR

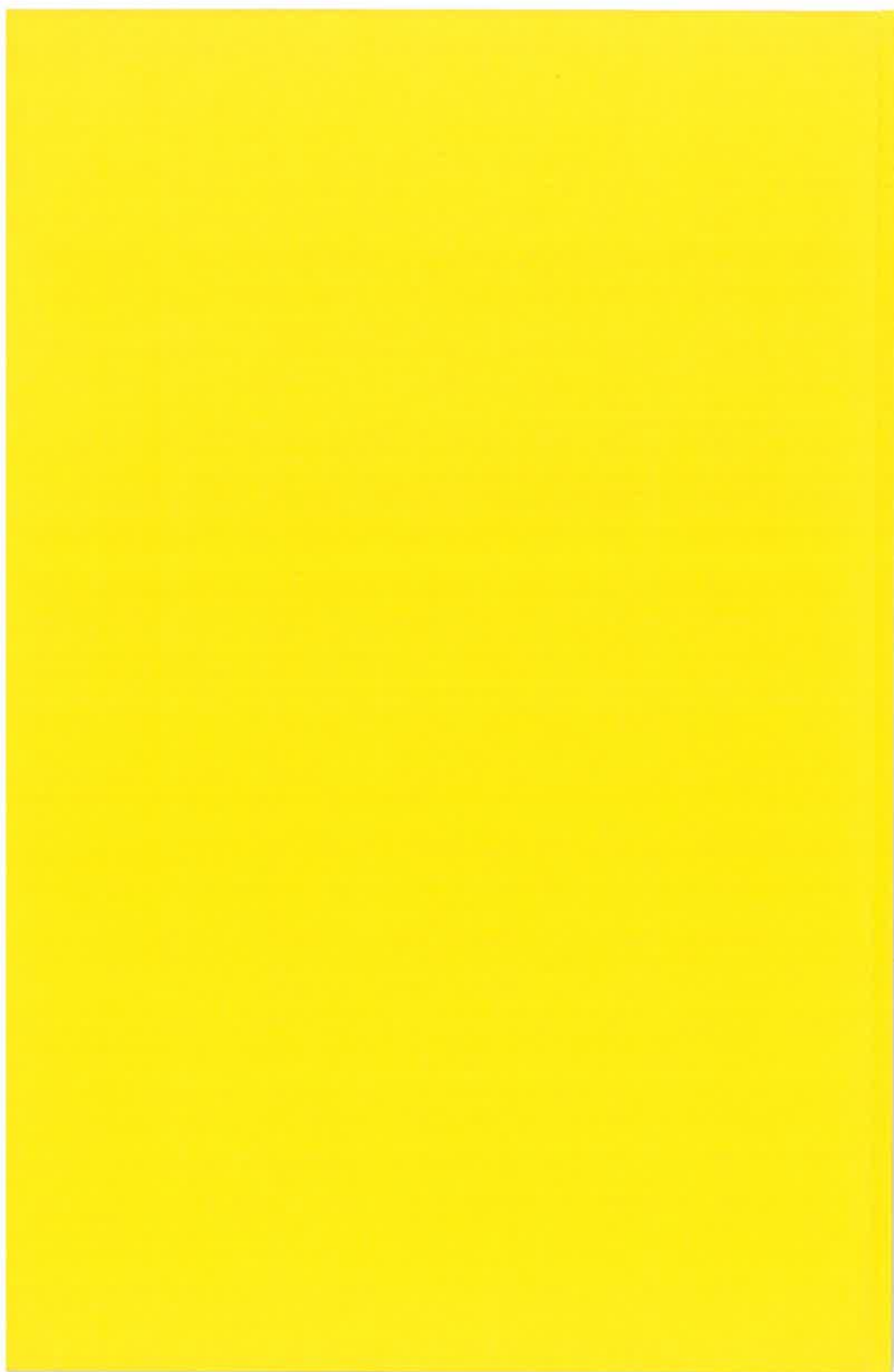
- [1] Svensk standard SIS 21 91 80, Armeringsnät
Tekniska leveransbestämmelser, Utgåva 2 maj 1969.
- [2] Tysk norm DIN 1045, Beton- und Stahlbetonbau,
Bemessungen und Ausführung, Ausgabe Januar 1972.
- [3] DS 411, Dansk Ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner,
2. udgave december 1973.
- [4] Bilag til DS 411, Vejledning til Dansk Ingeniørforenings norm
for betonkonstruktioner, 2. udgave december 1973.
- [5] DS 13082, Svejste armeringsnet til jernbeton,
februar 1979.
- [6] G. Rehm, R. Tewes und R. Eligehausen: Übergreifungsstösse
geschweisster Betonstahlmatten, Deutscher Ausschuss für
Stahlbeton, Heft 291, 1977.
- [7] A. Kjems: Forankring af svejste armeringsnet af gruppe I,
Intern rapport nr. I 51, ABK 1977.
- [8] A. Kjems: Forankring af svejste armeringsnet af gruppe I.
Supplerende forsøg, Intern rapport nr. I 59, ABK 1978.

AFDELINGEN FOR BÆRENDE KONSTRUKTIONER
Danmarks tekniske Højskole
Bygning 118, 2800 Lyngby, tlf: (02) 88 35 11

INTERNE RAPPORTER

- I 24. LARSEN, H.J. og ERIK SØRENSEN: Forbindelse med koniske stålstifter. Forsøgsdata. 1973.
- I 25. NIELSEN, SØREN: Svingninger i mastebarduner. II. Forsøg med kabeltråde. 1973. Udg.
- I 26. NIELSEN, LEIF OTTO: Dynamisk påvirkning af elastiske konstruktioner. 1973.
- I 27. SØRENSEN, HANS CHR.: Shear in reinforced concrete beams with high strength stirrups. Shear tests on 12 reinforced concrete T-beams. Lok-testing - a non destructive concrete compressive test. 1973.
- I 28. HEJGAARD, OLE: Armeringspapir af mineraluldsfibre. 1. halvårsrapport pr. 10.10.1973. 1973.
- I 29. SVENSSON, SVEN EILIF: Illustration af nogle stabilitetsfænomener med brug af simple modeller. 1973.
- I 30. LYNGBERG, BENT S.: Planlægningsrapport for forsøg med delvis forspændte jernbetonbjælker med et modificeret T-tværsnit. 1974.
- I 31. SØRENSEN, H.C.: Rapport om studierejse til England, 22. oktober - 5. november 1972. 1974.
- I 32. SØRENSEN, H.C.: Rapport om ophold i Polen, 2. - 17. september 1973. 1974.
- I 33. SØRENSEN, H.C.: Rapport om studierejse til Tyskland, 13. - 26. oktober 1973. 1974.
- I 34. EGERUP, ARNE og H.J. LARSEN: Rapport fra IUFRO-V kongres 1973. 1974.
- I 35. Oversigt over igangværende og planlagte forskningsopgaver på Afdelingen for Bærende Konstruktioner 1974. 1974.
- I 36. KRENK, STEEN: Om Riemann-Hilbert formulering af problemer fra teorien for anisotrop elasticitet. 1974.
- I 37. HEJGAARD, OLE: Armeringspapir af mineraluldsfibre. STVF-bevilling 2609, B-263. Slutrapport pr. 1.5. 1974. 1974.
- I 38A. RIBERHOLT, HILMER: Vierendeelbjælker af træ. Lime-
de eller sømmede. 1975.
- I 38B. RIBERHOLT, HILMER: Vierendeelbjælker af træ. Lime-
de eller sømmede. Appendix. 1975.
- I 39. ASKEGAARD, V. og E. BORCHERSEN: Modelmateriale med indfrysningsegenskaber og reduceret Poissons forhold til modellering af termo- og svindspændingstilstande. 1975.
- I 40. Forskningsoversigt 1975. Publikationsliste 1974. 1975. Udg.
- I 41. EGERUP, ARNE R. og H. RIBERHOLT: Rapport fra IUFRO-V 1975 Wood Engineering Group Meeting. 1975.
- I 42. SCHMIDT, HENRIK: Varslingsudstyr baseret på detektion af akustisk emission. 1975.

- I 43. SCHMIDT, HENRIK: Revnelokaliseringsudstyr baseret på detektion af akustisk emission. 1975.
- I 44. Forskningsoversigt 1976. 1976.
- I 45. KRENK, STEEN: Nogle elasticitetsteoretiske revne- og kontaktproblemer. 1976.
- I 46. Broekskursion til Humberbroen. 1976.
- I 47. JENSEN, JENS HENNING og HENRIK SCHMIDT: Anvendelse af ABK's PDP-8 minicomputer. 1976.
- I 48. Årsberetning for 1976. Planlagt forskning for 1977 - 79. 1977.
- I 49. BACH, FINN, M.P. NIELSEN og M.W. BRÆSTRUP: Forskydningsforsøg med jernbetonbjælker. 1977.
- I 50. BRÆSTRUP, M.W.: Blokmurværks bæreevne. En analyse af forsøgsresultater. 1977.
- I 51. KJEMS, ARNE og HERBERT KRENCHER: Forankring af svejste armeringsnet af gruppe I. Svejste net af glat eller profileret tråd. 1977.
- I 52. MADSEN, HENRIK OVERGAARD: Om Rackwitz-Fiessler algoritmen til beregning af bærende konstruktioners sikkerhed under kombineret belastning. 1977.
- I 53. AGERSKOV, H., N.J. GIMSING & C. ANDRESEN: Stålforskningsprojekter på Afdelingen for Bærende Konstruktioner, DTH. 1977. Dansk Ståldag 1977. 1977.
- I 54. JENSEN, J.F., M.W. BRÆSTRUP, F. BACH og M.P. NIELSEN: Præfabrikerede sandwichelementer af letbeton. En analyse af forskydningsstyrke og nedbøjninger. 1977.
- I 55. HERRMANN, B.: En plasticitetsmodel for korttidsbelastning af beton. 1977.
- I 56. BRYDER, KAJ L.: Optimeringsmetoder for bærende konstruktioner. 1977.
- I 57. ROIKJÆR, M., M.P. NIELSEN, M.W. BRÆSTRUP og FINN BACH: Forskydningsforsøg med spændbetonbjælker uden forskydningsarmering. 1977.
- I 58. GIMSING, N.J. og F. JOHNSEN: Pilotforsøg vedrørende trykkede pladefelters bæreevne. 1978.
- I 59. KJEMS, ARNE og HERBERT KRENCHER: Forankring af svejste armeringsnet af gruppe I. Supplerende forsøg. Svejste net af glat eller profileret tråd. 1978.
- I 60. RIBERHOLT, HILMER: Limede vierendeelbjælker af træ. Styrken af hjørnesamling mellem flange og kropplade. 1978.
- I 61. ASKEGAARD, VAGN: Teaching and research in experimental mechanics. Complementarity of theory and experiment. 1978.
- I 62. ROIKJÆR, M., C. PEDERSEN, M.W. BRÆSTRUP, M.P. NIELSEN og FINN BACH: Bestemmelse af ikke forskydningsarmerede bjælkers forskydningsbæreevne. 1979.
- I 63. KIRK, JENS: Stabilitet af tynde skalkonstruktioner. 1979.



23/5

15

ISSN 0106-0139