

Sammenlignende forsøg mellem knudejærn og rundjærn

E. Suenson

Tidsskrifter

Særtryk af Ingeniøren 1908

1908

# Sammenlignende Forsøg mellem Knudejærn og Rundjærn

AF

**E. SUENSON**  
M. ING. F.

~~~~~  
SÆRTRYK AF INGENIØREN.  
~~~~~



KØBENHAVN

TRYKT HOS J. JØRGENSEN & Co. (M. A. HANNOVER)

1908

Jærnbetonkonstruktionernes svage Punkt er Forbindelsen mellem Jærnet og Betonen. Adhæsionen mellem de to Materialer er som Regel for ringe til, at Jærnets Trækstyrke kan udnyttes fuldt ud; det glider forinden, med mindre der er truffet særlige Forholdsregler derimod. Disse Forholdsregler kan bestaa i, at man bøjer Jærnene op ved Understøtningerne og kroger dem i Enden, men man kan ogsaa gaa en anden Vej og anvende særlige Betonjærn, der er snoede eller forsynede med Knaster, saa at de vanskeligere end Rundjærnene lader sig trække ud af Betonen.

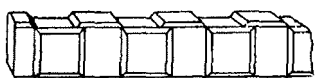


Fig. 1.

Af saadanne Jærn er de i Fig. 1 afbildede Knudejærn, som Amerikaneren *Johnson* har opfundet, bragte i Handelen herhjemme af *A/S Sophus Berendsen*, og under en Samtale, jeg i sin Tid havde med Forhandleren, raadede jeg ham til at lade gøre nogle Forsøg med disse Jærn for at faa deres Virkning sammenlignet med almindelige Rundjærns.

Jeg tilbød af Interesse for Sagen min Hjælp, som blev modtaget, medens i øvrigt alle Forsøgsudgifterne er afholdte af Aktieselskabet.

Om Udførelsen af disse Forsøg og deres Udfald handler det efterfølgende. Skønt Formaalet blot var at undersøge de forskellige Prøvelegemers Styrke, har jeg dog søgt at faa saa meget som muligt ud af Forsøgene og har blandt andet noteret de vigtigste Brudfænomener, medens en detaljeret Beskrivelse af Revnernes Antal, Størrelse, Tidspunktet for deres Opstaaen o. s. v. laa uden for mit Program. Naar man ikke indskrænker sig til at studere en bestemt Enkelthed, fanges Opmærksomheden snart af een Foreteelse, snart af en anden, og Beskrivelsen bliver som Følge deraf noget uensartet, da man ikke kan faa alt med. Af mulige Huller i Referatet, kan man derfor intet slutte.

### I. Prøvelegemerne.

For at Forsøgene skulde blive saa oplysende som muligt, blev der altid støbt to Prøvelegemer samtidig, eet armeret med Knudejærn og et andet armeret med Rundjærn, saa at Resultaterne umiddelbart kunde sammenlignes uden Hensyn til Betonens Beskaffenhed.

Prøvelegemerne var dels Blokke, af hvilke Jærnene blev trukket ud, dels Bjælker, der bragtes til Brud ved Bøjning.

Tidligere *Adhæsionsforsøg* er udførte paa een af de ved Fig. 2 og 3 oplyste Maader, idet Jærnet enten trækkes eller trykkes ud af Betonen. Den første Fremgangsmaade frembyder størst Interesse, men der er den Mangel ved den, at paa det Sted, hvor Jærnet træder

ud af Betonen, er Jærnet mest strakt, medens Betonen er stærkest sammentrykket. Man maa derfor formode, at Sammenhængen ophæves hurtigere her, end Tilfældet



Fig. 2.



Fig. 3.

er i Praxis, hvor begge Materialer gerne er strakte samtidig. Jeg foretrak derfor at benytte Legemer af den i Fig. 4 viste Form, smaa Blokke af Dimension 33.20.20 cm og med et Jærn indstøbt i hver Ende, saaledes at Jærnene mødtes i Midten. De indstøbte Jærnender var allsaa 16,5 cm. lange, medens Resten af Jærnet (ca. 14 cm) ragede udenfor Betonen.

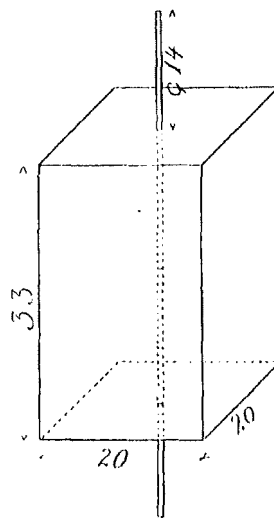


Fig. 4.

Armeringen bestod dels af  $\frac{1}{4}$ " Knudejærn, dels af 7 mm og 8 mm Rundjærn; Knudejærnets Periferi (eller rettere Periferien af et Kvadrat med  $\frac{1}{4}$  engelsk Tomme Sidelinie) er nemlig 2,54 cm og svarer saaledes nærmest til Periferien af 8 mm Rundjærn, som er 2,51 cm, medens Knudejærnets Tværnsnitsareal (eller rettere Arealet af et Kvadrat med  $\frac{1}{4}$  engelsk Tomme Sidelinie) er 0,403 cm<sup>2</sup> og saaledes nærmest svarer til Arealet af et Stykke 7 mm Rundjærn, som er 0,385 cm<sup>2</sup>. Da saavel Trækspændingen i Jærnet som Adhæsionsspændingen mellem Jærn og Beton kunde tænkes at faa Indflydelse paa Glidemodstanden, ønskede jeg at sammenligne Knudejærnet med saavel 7 mm som 8 mm Rundjærn og støbte derfor 3 Legemer med 7 mm Rundjærn, 3 Legemer med 8 mm Rundjærn samt 6 Legemer med Knudejærn.

For at undgaa en Overrivning af Betonen blev Blokkene armerede i Længderetningen med en Jærnstang i hvert Hjørne.

Bjælkerne var 120 cm lange, 15 cm brede og dels 25 cm, dels 9 cm høje. Armeringen bestod enten af

2 Stykker  $\frac{1}{4}$ " Knudejern eller 2 Stykker 7 mm Rundjern liggende nær ved Bjælkens Underside og ganske lige, uden Ombøjninger. For at faa Jærnene til at ligge rigtig og i passende Afstand fra Formens Bund blev der under deres Ender anbragt to Stumper 8 mm Rundjern, der fastbandtes med 1 mm Bindetraad. Der støbtes 12 Bjælker: 3 lave og 3 høje armerede med Knudejern samt 3 lave og 3 høje armerede med Rundjern. Armeringsprocenten for de lave Bjælker var ca. 0,7 og for de høje ca. 0,2.

Der blev lavet to høje Bjælkeforme mærkede 1 og 2, to lave Bjælkeforme mærkede 3 og 4 samt fire Forme til Adhæensionsforsøgene mærkede 5, 6, 7 og 8. Hver Form maatte saaledes benyttes tre Gange, men takket være deres udmærkede Konstruktion, der skyldtes Ingeniør *Thorvald Hansen*, blev alle Legemerne af saa ensartede Dimensioner, som man kunde ønske (se Tabel B), til Trods for at Formene var af Træ.

## 2. Jærnet.

De 12 Rundjern og de 12 Knudejern, der skulde benyttes til Bjælkernes Armering, blev af A/S *Sophus Berendsen* udtagne 150 cm lange og derpaa mærkede i begge Ender med Numrene I til XII, hvorefter der klippedes en omtrent 31 cm lang Ende af hvert. Med disse Ender foretog jeg Trækkforsøg, og Resultaterne findes i efterfølgende Tabel A, hvor  $\sigma_F$  betegner Flydegrænsen,  $S_t$  Brudgrænsen og  $\delta_7$  Brudforlængelsen i Procent af den 7 cm lange Maalekængde.

(Den nævnte Mærkning og Adskillelse skele uden Kontrol, men jeg har ingen Grund til at tvivle om dens samvittighedsfulde Udførelse).

Tabel A.

Nr.	7 mm Rundjern				$\frac{1}{4}$ " Knudejern			
	$\sigma_F$ at	$S_t$ at	$\delta_7$ %	$\sigma_F$ $S_t$	$\sigma_F$ at	$S_t$ at	$\delta_7$ %	$\sigma_F$ $S_t$
I	2860	4280		0,67	4410	6060		0,73
II	2860	4000		0,72	4220	5920		0,71
III	2810	4000	23,3	0,70		6610	18,6	
IV	2810	4170	27,9	0,67		5730	21,7	
V	2800	4050		0,69	3920	5910		0,66
VI	2830	3870		0,73	4300	6000	20,4	0,72
VII	2730	3760		0,73		6000	19,6	
VIII	2860	3790		0,76		6870	19,7	
IX	2810	3920		0,72		6550	10,7	
X	2860	4090	25,4	0,70		5900	22,9	
XI	2780	4100	23,7	0,68	3970	6030		0,66
XII	2830	3940	21,4	0,72	4470	6620		0,68
Middeltal	2820	3998	24,3	0,71	4215	6188	19,1	0,69

Som man ser, er Rundjærnet almindeligt, blødt Staal, medens Knudejærnet er væsentlig haardere. Forholdet mellem Flyde- og Brudgrænse er omtrent det samme for begge Jærnsorter, men Knudejærnets Flydegrænse var saa lidt udpræget, at jeg for Halvdelen af Stængernes Vedkommende var i Tvivl om, hvilken Værdi jeg skulde sætte, og derfor ingen har anført.

Ved Prøvelegemernes Støbning var Rundjærnet (navnlig det med 7 mm Diameter) rustent over det Hele, Knudejærnet kun paa enkelte Punkter.

## 3. Betonen.

Cementen var fra Fabrikken *Norden* og undersøgtes ikke.

Sandet var Strandsand, stenfrit og af en ensartet, ringe Kornstørrelse. Løst indfyldt i en Spand, der rummede 17,2 l vejede det  $1242 \text{ kg/m}^3$  og indeholdt 45,9 % Hulrum (bestemt ved at mætte det med Vand).

Skærverne var  $\frac{1}{2}$ " Granitskærver, men syntes dog temmelig smaa og indeholdt meget smaat. De var nylig vadskede og derfor vaade. Løst indfyldt i en 17,2 l Spand vejede de  $1372 \text{ kg/m}^3$  og indeholdt 48,8 % Hulrum. Efter at være hældt over med Vand vejede de  $1383 \text{ kg/m}^3$  og indeholdt 47,1 % Hulrum.

Efter Støbningen af den første Række Prøvelegemer viste det sig, at den foreliggende Skærvemængde ikke vilde forslaa, og der blev derfor hentet en ny Forsyning. Disse nye Skærver var af samme Størrelse som de gamle, men ikke vadskede og indeholdt derfor en Mængde Sand og Stenmel, ligesom de var tørere. De vejede  $1422 \text{ kg/m}^3$  og indeholdt 46,4 % Hulrum. De nye Skærver blev blandede med de tiloversblevne gamle, og denne Blanding benyttedes ved Støbningen af de to sidste Rækker Prøvelegemer. Mængderne skønnedes at forholde sig som 1,6 til 1, hvorefter Skærveblandingen kan antages at have vejte  $1403 \text{ kg/m}^3$  og at have indeholdt 47,3 % Hulrum.

Betonen blandedes af 100 Maal Skærver + 50 Maal Sand + 25,4 Maal Cement. At Cementmængden blev 25,4 i Stedet for 25,0, skyldes en Uagtsomhed. Da det havde vist sig, at gentagne Fyldninger af samme Maal med enten Skærver eller Sand altid gav samme Vægt, fandt jeg det overflødig at afveje disse Stoffer og nøjedes med en Udmaaling ved Hjælp af et 2 Kubikfods Maal og et 1 Kubikfods Maal, hvis nøjagtige Rumfang viste sig at være henholdsvis  $0,0630 \text{ m}^3$  og  $0,0314 \text{ m}^3$ . Cementmængden blev derimod bestemt ved Vejning, idet Cementen antoges at veje  $1400 \text{ kg/m}^3$ .

Jeg kan ikke bestemt opgive den totale Materialmængde, der medgik til Støbningen af den første Række Prøvelegemer, men til hver af de to sidste blandedes følgende Mængder:

Skærver	0,1890 $\text{m}^3$	=	265,20 kg
Sand	0,0944 "	=	117,20 "
Cement	0,0472 "	=	66,05 "
	0,3306 "	=	448,45 "
Vand	0,0215 "	=	21,50 "
	0,3521 $\text{m}^3$	=	469,95 kg

Vandmængden udgjorde altsaa 4,79 % af Tørstoffernes Vægt og 6,50 % af Summen af deres Volumener.

Efter Støbningen af 2den og 3die Række Prøvelegemer var der henholdsvis 45 kg og 50,5 kg Beton tilovers.

## 4. Støbningen.

Støbningen udførtes 2. Maj, 16. Maj og 1. Juni 1907, idet alle 8 Forme benyttedes hver Gang. Betonen blandedes omhyggeligt for Haanden af en Mursvend og en Betonarbejder. Den første udstøbte alle Formene

med lige Numre, den sidste alle Formene med ulige Numre. Formene blev indsmurt med »Cementolie«. De høje Bjælker støbtes i 4 Lag, de lave Bjælker i 2 Lag, Adhæsiionsprøvelegemerne i 3 Lag og i liggende Stilling.

Hvert Prøvelegeme blev mærket med Formens Nummer samt med Tallet I, II eller III, eftersom det var støbt den 1., 2. eller 3. af de ovenfor nævnte Dage.

Ved Støbningen den 2. Maj og 1. Juni var der Knudejærn i Formene 1, 3, 6 og 8 og Rundjærn i Formene 2, 4, 5 og 7. Den 16. Maj var Forholdet omvendt.

Støbningen foregik i Nummerorden, saaledes at Formene 1 og 2 udstøbtes først og samtidig, derpaa 3 og 4 o. s. v. Der blev altsaa altid samtidig støbt et Legeme med Knudejærn og et med Rundjærn, og af samtlige Prøvelegemer støbte Mureren 8 med Knudejærn, 4 med Rundjærn, og Betonstøberen 4 med Knudejærn, 8 med Rundjærn.

Stampningen foretoges med lette, smalle Jærnstamper af Vægt 3,17 kg og Stampellade 4 cm. 12 cm.

Ved Støbning af Række I var Betonen rigelig vaad, saa at der allerede ved Stampning af Bjælkernes underste Lag kom Cementslam frem i Overfladen. Ved Støbning af Række II og III var Betonen noget tørere, saa at der ikke kom Slam frem ved Stampningen af det underste Lag. Dette skyldes formentlig Skærvernes ringere Vandindhold.

Efter at et Legeme var stampet færdig, blev det afrettet i Højde med Formens Sider ved Hjælp af en Murske og blev ikke rørt senere og heller ikke vandet. Efter 5 Dages Forløb blev det afskallet og stod saa i den Kælder, hvor Støbningen fandt Sted, indtil det den 8. eller 9. Juli forsigtigt blev transporteret til Laboratoriet.

### 5. Betonudbytte.

Som omtalt i Afsnit 3, blev der ved Støbningen af de to sidste Rækker ialt 95,5 kg Beton tilovers. Forbruget stiller sig derefter saaledes:

Skærver	0,3396 m <sup>3</sup>	=	476,5 kg
Sand	0,1696 »	=	210,6 »
Cement	0,0848 »	=	118,7 »
	0,5940 »	=	805,8 »
Vand	0,0386 »	=	38,6 »
	0,6326 m <sup>3</sup>	=	844,4 kg

I efterfølgende Tabel B er indført Prøvelegemernes Middeldimensioner og Volumen (fundet som Produktet af de tre Middeldimensioner) samt Vægt; den sidste blev bestemt lige inden Prøvningen, da Betonen var ca. 6 Maaneder gammel.

Som man ser, er den samlede Vægt af Rækkerne II og III: 419,8 + 418,4 = 838,2 kg, og trækkes herfra Jærnindlæggets Vægt, som er beregnet til 12,3 kg, bliver der 825,9 kg tilbage til Betonen. Imidlertid var — af Grunde som senere skal omtales — de 8 Adhæsiionsprøvelegemer blevne lagt i Vand noget inden Vejningen, hvorved de optog ca. 4,5 kg Vand, der ogsaa maa fradrages, saa at Betonens normale Vægt bliver 821,4 kg, eller 23 kg mindre end Vægten af de benyttede Raastoffer; dette Vægttab skyldes naturligvis Vand, der dels er løbet bort inden Betonens Støbning og dels fordampel-

senere hen. Vægttabets Størrelse er dog kun tilnærmelsesvis rigtigt, da Vægten af Skærverne, Sandet og Jærnet ikke er bestemt direkte.

Det samlede Rumfang af Rækkerne II og III er 0,3527 m<sup>3</sup>, og trækkes herfra Jærnindlæggets Rumfang, der er beregnet til 0,0015 m<sup>3</sup>, bliver der 0,3512 m<sup>3</sup> tilbage til Betonen. Betonudbyttet har saaledes udgjort

$0,3512 \cdot 100 = 59\%$  af Tørstoffernes Volumen i løst Maal og  $\frac{0,3512}{0,3396} \cdot 100 = 103\%$  af Skærvernes Volumen i løst Maal.

Tabel B.

Mærke	cm Længde	cm Bredde	cm Højde	cm <sup>3</sup> Volumen	kg Vægt	
I	1	120,0	15,0	25,1	45 180	106,9
	2	119,9	14,9	25,1	44 811	106,2
	3	119,9	15,0	8,7	15 647	37,1
	4	119,6	15,0	8,8	15 787	37,3
	5	33,0	20,2	20,0	13 332	31,7
	6	32,9	20,3	20,0	13 357	31,8
	7	33,0	20,2	20,0	13 332	31,9
	8	32,6	20,2	20,0	13 170	31,1
Summa:					174 646	414,0
II	1	119,9	15,0	25,2	45 322	107,1
	2	119,9	15,0	25,4	45 682	107,8
	3	119,7	15,0	8,9	15 980	37,6
	4	119,7	15,0	8,8	15 800	37,9
	5	33,0	20,3	20,0	13 303	32,5
	6	32,9	20,4	20,1	13 490	32,2
	7	33,0	20,4	20,0	13 464	32,4
	8	32,7	20,3	20,1	13 343	32,3
Summa:					176 479	419,8
III	1	119,9	15,0	25,3	45 502	106,3
	2	120,0	15,0	25,4	45 720	107,5
	3	119,7	15,0	8,8	15 800	37,6
	4	119,7	15,0	8,8	15 800	37,5
	5	32,9	20,2	20,0	13 292	32,4
	6	32,9	20,4	20,0	13 423	32,4
	7	32,9	20,2	20,0	13 292	32,1
	8	32,7	20,4	20,1	13 408	32,6
Summa:					176 237	418,4

Det maatte Udbytte stemmer godt med Raastoffernes Indhold af Hulrum, som følgende Regnestykke viser:

Anvendt Cementmængde	0,0848 m <sup>3</sup>
Sandmængdes Hulrum	$\frac{45,9}{100} \cdot 0,1696 = 0,0778$ —
Cementoverskud	0,0070 —
Sandmængde	0,1696 —
Mørteludbytte	0,1766 —
Skærvemængdes Hulrum	$\frac{47,3}{100} \cdot 0,3396 = 0,1606$ —
Mørteloverskud	0,0160 —
Anvendt Skærvemængde	0,3396 —
Betonudbytte	0,3556 —

Dette beregnede Udbylte svarer omtrent ganske til det maalte, som var 0,3512 m<sup>3</sup>.

Middelvægten af samtlige 24 Jærnbetonlegemer er  $1252,2 : 0,5274 = 2374 \text{ kg/m}^3$ , og ved Fradrag af Jærndiægets Vægt og Volumen findes Betonens Middelvægt at være  $2341 \text{ kg/m}^3$ .

### 6. Adhæsionsforsøgene.

Saa vel Adhæsionsprøvelegemerne som Bjælkerne undersøgte paa Statsprøveanstalten i min Nærværelse. Legemernes Alder ved Prøvningen var 5 Maaneder og 21 til 26 Dage.

Adhæsionsforsøgene foregik i Tinius Olsen Maskinen, idet de fremragende Ender af de indstøbte Jærn blev fastspændte i Maskinens Bakker, saaledes at den frie Længde paa hvert Jærn var ca. 8 cm; herfra danner dog Prøvelegemet I<sub>8</sub> en Undtagelse, idet dette blev indspændt saaledes, at Bakkerne var saa nær Betonen som muligt. Ved Prøverne anvendtes Maskinens mindste Hastighed (ca. 0,8 mm i Minuttet) undtagen for 2 Legemers Vedkommende (I<sub>7</sub> og II<sub>7</sub>), hvor den mellemste Hastighed (ca. 7 mm i Minuttet) blev anvendt.

Først blev de fire Legemer af Støbning I undersøgt med følgende Resultat.

I<sub>5</sub>, armeret med 7 mm Rundjærn: Efter at Trækket i det underste Jærn har naaet en Størrelse af 994 kg, synker Vægtstangen, som Følge af at det underste Jærn glider. Paa Grund af Glidningen synker Lasten til 535 kg, og under den paafølgende, langsomme Udtrækning af Jærnet svinger den mellem 535 kg og 730 kg. Tilsidst sættes stærk Fart paa Maskinen, hvorved Kraften ikke stiger væsentlig.

Den udtrukne Stang er rusten over næsten hele Overfladen, kun paa enkelte Steder er Rusten slidt af.

Da Stangens indstøbte Længde er 16,5 cm, bliver den indstøbte cylindriske Overflade:  $\pi \cdot 0,7 \cdot 16,5 = 36,3 \text{ cm}^2$  og største Adhæsionsspænding:  $\tau_{bj} = \frac{994}{36,3} = 27,4 \text{ at}$ , medens Trækspændingen i Jærnet er:  $\sigma_j = 994 : \frac{1}{4} \pi \cdot 0,7^2 = 2582 \text{ at}$ .

I<sub>7</sub>, armeret med 8 mm Rundjærn: Prøven sker med mellemste Hastighed (ca. 7 mm i Minuttet). Ved en Belastning af 1690 kg begynder den øverste Stang at glide, svarende til  $\tau_{bj} = 40,7 \text{ at}$  og  $\sigma_j = 3360 \text{ at}$ .

I<sub>6</sub>, armeret med Knudejærn: Da Trækket i den øverste Stang har naaet 1772 kg, bliver Vægtstangen noget urolig. Ved 2100 kg kommer der Revner i Legemets Overside rundt om Jærnet; disse Revner, der danner en lukket, uregelmæssig, tilnærmelsesvis kredsfornet Kurve, skyldes den Omstændighed, at den indenfor liggende Betonskal har løsrevet sig fra Legemet og følger med Jærnet under dettes Flyden; de 1772 kg svarer nemlig til Flydegrænsen, idet de giver Jærns spændingen  $1772 : 0,403 = 4397 \text{ at}$ .

Ved 2197 kg viser det samme Fænomen sig paa Legemets Underside, og samtidig breder Afskallingerne sig paa dets Overside, idet der løfter sig en flad, kegleformet Kage, som følger med Jærnet ud af Betonen (Fig. 5); der er dog stadigvæk ikke Tale om nogen Glidning, det er blot Jærnet, der flyder, og ved 2537 kg springer Stangen paa det øverste, fri Stykke.

Da Stangens indstøbte Længde er 16,5 cm, bliver den indstøbte prismatiske Overflade  $2,54 \cdot 16,5 = 41,9 \text{ cm}^2$  Jærnet har altsaa taalt Spændingerne:

$\tau_{bj} = 2537 : 41,9 = 60,5 \text{ at}$  og  $\sigma_j = 2537 : 0,403 = 6295 \text{ at}$  uden at glide.

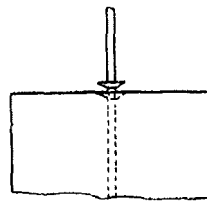


Fig. 5.

I<sub>8</sub>, armeret med Knudejærn: Prøvelegemet indspændes saaledes, at den frie Længde paa Jærnene er saa lille som mulig, men Resultatet er det samme som ved I<sub>6</sub>. Begge Stængerne flyder og løfter den vedhængende Betonkage ca. 1 cm fra Legemet. Senere springer den øverste Stang ved 2398 kg, svarende til  $\tau_{bj} = 57,2 \text{ at}$  og  $\sigma_j = 5950 \text{ at}$ .

Resultaterne af disse første Forsøg var mig en Overraskelse. Jeg havde ikke tænkt at komme op paa saa store Værdier som over 60 at for Adhæsionen og havde dimensioneret Prøvelegemerne derefter, og Følgen var altsaa, at Knudejærnet blev trukket over i Stedet for ud af Betonen. Denne Kendsgerning var naturligvis af stor Interesse, men Formaalet var dog bestemt at faa fastslaaet Forholdet mellem Glidemodstanden for de to Jærnsorter. Jeg lod derfor alle de resterende Adhæsionslegemer lægge i Vand, idet jeg tænkte mig Muligheden af, at Adhæsionen vilde synke, naar Betonen udvidede sig som Følge af Vandoptagelsen. Imidlertid var der ingen saadan Virkning at spore, til Trods for at Legemerne laa 11 til 26 Dage i Vand; Knudejærnene sprang, og Rundjærnene gled ved den samme Last som tidligere, saaledes som det fremgaar af efterfølgende Referat. Betonens Vandoptagelse var i Gennemsnit ca. 4,2 Rumprocent.

II<sub>6</sub>, armeret med Knudejærn: Ved 1700 kg bliver Vægtstangen liggende et Øjeblik, ved 1951 kg begynder Betonkeglen at hæve sig op fra Legemets Overside, noget senere sker det tilsvarende paa Undersiden. Ved 2355 kg springer den øverste Stang.

II<sub>7</sub>, armeret med Knudejærn: Maskinen gaar med sin mellemste Hastighed. Ved 1843 kg standser Vægtloppet en kort Tid; ved ca. 2100 kg løsner den øverste Kegle sig og derefter den nederste; ved 2733 kg springer den øverste Stang.

III<sub>6</sub>, armeret med Knudejærn: Ved 1947 kg løsner den øverste Kegle sig, ved 1991 kg den nederste; ved 2396 kg springer den nederste Stang.

III<sub>8</sub>, armeret med Knudejærn: Ved ca. 1800 kg er der en Standsning i Vægtloppet's Bevægelse, ved 1945 kg viser Kegledannelsen sig foroven og mindre stærkt forneden; ved 2360 kg springer den øverste Stang.

II<sub>5</sub>, armeret med 7 mm Rundjærn: Ved en Belastning af 1156 kg standser Vægtloppet en kort Tid. Ved 1218 kg løsner der sig en Betonkage foroven ganske som ved Knudejærnet, men det er her en Følge af at

Stangen glider, thi det viser sig, at Belastningen er sunken til ca. 400 kg. Efter Udtrækningen ser man, at Jærnet er rustent over det hele.

III<sub>7</sub>, armeret med 7 mm Rundjærn: Efter at Belastningen har naaet 1110 kg, begynder Loddet at bevæge sig langsommere. Ved 1140 kg glider den øverste Stang tagende en meget lille Betonkage med sig, og Lasten synker til ca. 700 kg. Jærnet er rustent og vaadt.

II<sub>8</sub>, armeret med 8 mm Rundjærn: Ved en Belastning af 1068 kg kommer der Afbladninger forneden, som Følge af at nederste Stang glider, og Belastningen synker da til ca. 670 kg. Da Stangen trækkes helt ud, følger der noget rustfyldt Vand efter; selv er den rustfri.

III<sub>5</sub>, armeret med 8 mm Rundjærn: Ved en Belastning af 1582 kg standser Vægloddet en kort Tid, derpaa atter ved 1597 kg og ved 1606 kg. Ved 1644 kg glider nederste Jærn uden at tage Beton med sig, og Belastningen synker til 1418 kg. Jærnet er vaadt og rustent over det hele, og der følger noget rustfyldt Vand efter.

I Tabel C er alle de fundne Værdier af  $\tau_{bj}$  og  $\sigma_j$  sammenstillede. Der er her, ligesom overalt ovenfor, taget Hensyn til Virkningen af Legemets Egenvægt, saaledes at de opgivne Belastninger er lig med Trækket i den af Stængerne, der gled, og for Knudejærnenes Vedkommende lig med Trækket i den øverste Stang.

Tages Middeltallet af alle de fundne Værdier, bliver Resultatet, at det 7 mm Rundjærn er gledet ved  $\tau_{bj} = 30,8$  at, det 8 mm Rundjærn ved  $\tau_{bj} = 35,3$  at, medens Knudejærnet har taalt  $\tau_{bj} = 58,8$  at uden at glide. Middeltallet af 30,8 at og 35,3 at er 33,1 at, der sammenlignet med de

58,8 at viser, at Knudejærnets Glidemodstand er mindst 78 % større end Rundjærnets og muligvis langt større.

Giver man sig til at spekulere over Glidemodstandens Natur, synes det indlysende, at hvis Jærnet er snorlige og glat, maa det senest glide, naar Spændingen i det har naaet Flydegrænsen, ligegyldigt hvor dybt det er indstøbt, thi ved Flydningen maa Forbindelsen med Betonen ophøre, og efterhaanden vil da Flydningen forplante sig gennem hele Jærnet. En Jærnstang, der ikke er fastgjort i Betonen paa særlig Maade, vil altsaa ikke ved rent Træk kunne paavirkes op over Flydegrænsen. I Praksis holder dette ikke helt Stik, thi Jærnene er altid mer eller mindre deformerede, men de ved Rundjærnsforsøgene fundne Værdier for Normalspændingen,  $\sigma_j$ , tyder dog paa, at Betragtningen er rigtig.

Forholdet mellem Rundjærnenes og Knudejærnenes Glidemodstand lader sig da rimeligvis rigtigst fremstille paa følgende Maade: Naar Indstøbningslængden er tilstrækkelig stor, vil Rundjærnet kunne belastes indtil Flydegrænsen, Knudejærnet indtil Brudgrænsen, altsaa ca. 2,2 Gange saa højt. Er Indstøbningslængden derimod for kort i Forhold til henholdsvis Flydegrænse og Brudgrænse (hvad den ikke bør være i en rationel Konstruktion), saa bliver Knudejærnenes Overlegenhed langt større. Se desangaaende de i E. Saenon: *Jærnbeton* Side 15 refererede Forsøg af de Puy, der har fundet Knudejærns Glidemodstand ca. 3 Gange saa stor som Rundjærns.

### 7. Bjælkeforsøgene.

Bjælkerne blev, inden Bøjeprøven fandt Sted, hvidtede to Gange paa Undersiden og den ene Sideflade, for at man lettere skulde kunne opdage, naar der frem-

Tabel C.

Mærke	Armering	Betonens Alder	Betonens Tilstand	Jærnets Tværsnit i cm <sup>2</sup>	Indstøbt Længde (16,5 cm)	Indstøbt Overflade i cm <sup>2</sup>	Glidelast i kg	Glidemodstand i at.	Jærn-Trækspænding i at.	Maskinens Gang
I <sub>5</sub>	7 mm O	5 M. 21 D.	tør	0,385	23,6 Gange Diameteren	36,3	994	27,4	2582	normal
II <sub>6</sub>	7 mm O	5 M. 26 D.	vaad	0,385		36,3	1218	33,6	3164	normal
III <sub>7</sub>	7 mm O	5 M. 25 D.	vaad	0,385		36,3	1140	31,4	2961	normal
Middeltal								30,8	2902	
I <sub>7</sub>	8 mm O	5 M. 21 D.	tør	0,503	20,6 Gange Diameteren	41,5	1690	40,7	3300	hurtig
II <sub>8</sub>	8 mm O	5 M. 26 D.	vaad	0,503		41,5	1068	25,7	2123	normal
III <sub>5</sub>	8 mm O	5 M. 25 D.	vaad	0,503		41,5	1644	39,6	3268	normal
Middeltal								35,3	2917	
I <sub>6</sub>	1/4" □	5 M. 21 D.	tør	0,403	26,0 Gange Sidelinten	41,9	> 2537	> 60,5	6205	normal
I <sub>8</sub>	1/4" □	5 M. 21 D.	tør	0,403		41,9	> 2398	> 57,2	5950	normal
II <sub>6</sub>	1/4" □	5 M. 26 D.	vaad	0,403		41,9	> 2355	> 56,2	5844	normal
II <sub>7</sub>	1/4" □	5 M. 26 D.	vaad	0,403		41,9	> 2733	> 65,2	6782	hurtig
III <sub>6</sub>	1/4" □	5 M. 25 D.	vaad	0,403		41,9	> 2398	> 57,2	5945	normal
III <sub>8</sub>	1/4" □	5 M. 25 D.	vaad	0,403		41,9	> 2800	> 56,3	5856	normal
Middeltal								> 58,8	6112	

kom Revner. Hvidtningen foretoges mindst 13 Dage før Forsøget fandt Sted.

Prøverne udførtes i Tinius Olsen Maskinen, hvor Bjælkerne anbragtes hvilende paa to Staalruller med en indbyrdes Afstand af 1 m.

De 8 Bjælker af Støbningerne I og II blev belastede med to Enkeltkræfter staaende midt mellem Bjælkens Midte og dens Understøtninger, altsaa 25 cm fra disse (Fig. 6). Kaldes Bjælkens Spændvidde L og

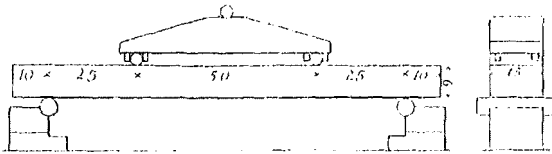


Fig. 6.

Summen af de to Enkeltkræfter P, bliver Maksimalmomentet  $\frac{1}{2} P \cdot \frac{1}{2} L = \frac{1}{4} PL$ . Kaldes Bjælkens Egenvægt G, og tages der ikke Hensyn til de smaa overrørende Ender, bliver Egenvægtsmomentet i Bjælkens Midte  $\frac{1}{8} GL$ . P og G kan derfor behandles under ét, og det er Summen af dem, der i det følgende er opgivet som Bjælkens Belastning.

De 4 Bjælker af Støbning III belastedes derimod med en Enkeltkraft i Midten (Fig. 7), saa at Maksimalmomentet

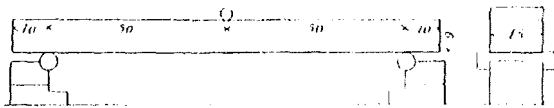


Fig. 7.

her bliver  $\frac{1}{2} P \cdot \frac{1}{2} L + \frac{1}{8} GL = \frac{1}{4} (P + \frac{1}{2} G) L$ ; der er derfor ved disse Bjælker opgivet Belastningen  $P + \frac{1}{2} G$ , saa at Momentet nemt kan bestemmes. Ved Beregning af Adhæsionsspændingerne er derimod den sande Belastning  $P + G$  indført.

Maskinens mindste Hastighed (ca. 0,8 mm i Minuttet) blev anvendt, dog blev der, efter at Bjælkerne var revnede, i flere Tilfælde anvendt en større Hastighed, saaledes som det nærmere fremgaar af Beskrivelsen.

Brudmaaden var ret forskellig, efter som Bjælkerne var armerede med Rundjærn eller med Knudejærn. Bjælkerne revnede naturligvis i begge Tilfælde, men medens Rundjærnene ved deres Flyden blot trak sig løs fra Betonen uden at ødelægge denne, kunde Knudejærnene ikke flyde uden at rive Betonen med sig, hvorved den underste Del af Bjælken ofte blev ganske oprevet, idet Undersiden revnede paa Kryds og tværs, og Betonen delte sig i uregelmæssige Stykker. Dette viser, at man i højere Grad faar Bjælkens Modstandsevne udnyttet ved Knudejærnet end ved Rundjærnet, men det synes ogsaa at vise, at Knudejærnene skal gemmes dybere i Betonen end Rundjærnene, for at man skal faa fuld Nytte af dem; Bjælkens Bæreevne var sikkert vokset, hvis det dækkende Betonlag havde været tykkere, saa at det i højere Grad havde kunnet modsætte sig Jærnets Flyden.

I det følgende er hvert enkelt Forsøg beskrevet.

I<sub>1</sub>, armeret med Rundjærn, 8,8 cm høj, belastet med to Enkeltkræfter: Ved en Belastning af 1037 kg ses pludselig Revner tværs over Undersiden fordelt

over hele Strækningen mellem Enkeltkræfterne og et Stykke udenfor disse. Ved 1602 kg synker Vægtstangen pludseligt, fordi een af Revnerne aabner sig stærkere. Denne Revne ligger 12 cm fra Bjælkens Midte. Senere knuses Betonen i Bjælkens Overside. Efter Forsøget bortmejsles Betonen i Bjælkens Ende, og det viser sig da, at Jærnene er gledne et Stykke og har efterladt et hullt Rum.

II<sub>1</sub>, armeret med Rundjærn, 8,9 cm høj, belastet med to Enkeltkræfter: Ved 1138 kg opdages den første Revne, senere findes de jævnt fordelt over Undersiden med ca. 6 cm indbyrdes Afstand. Den yderste ligger 7,5 cm udenfor Kraftangrebspunktet. Ved 1651 kg staaer Vægtloddet længe stille, mens een af Revnerne aabner sig. Ved 1678 kg blader Betonen af (knuses) over denne Revne.

Da Bjælkens Modstandsevne antages udtømt, sættes Maskinen i hurtigere Gang, hvorved Lasten imidlertid sliger til 1707 kg, samtidig med at en Revne, der ligger ca. 5 cm udenfor Enkeltkraftens Angrebspunkt, gaber (Fig. 8)\*). Den anden, store Revne gaber ogsaa, og Be-

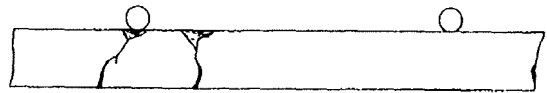


Fig. 8.

tonen over den knuses, Kraften stiger yderligere til 1766 kg, hvorpaa Maskinens Hastighed forøges, uden at Kraften vokser, derimod springer een af Stængerne. Ingen af Stængerne er gledne.

I<sub>2</sub>, armeret med Knudejærn, 8,7 cm høj, belastet med to Enkeltkræfter: Ved 1057 kg fremkommer der Revner, ved ca. 2140 kg forøges Maskinens Hastighed. Ved 2260 kg knuses Betonen foroven, senere ødelægges den ganske, ogsaa paa Undersiden. Jærnene er ikke gledne.

II<sub>2</sub>, armeret med Knudejærn, 8,8 cm høj, belastet med to Enkeltkræfter: Ved 1218 kg fremkommer der Revner, ved 2230 kg standser Vægtloddet nogen Tid. Bjælken har mange Revner ligesom de foregaaende, den yderste ligger 9,5 cm udenfor Enkeltkraften. Efter at Lasten længe har holdt sig paa 2396 kg, skaller Betonen af foroven, knuses og presses op til en Ruinhob. Jærnene er ikke gledne.

III<sub>1</sub>, armeret med Rundjærn, 8,8 cm høj, belastet i Midten: Ved 541 kg fremkommer en Revne omtrent i Bjælkens Midte; senere kommer der andre Revner, men kun den i Midten aabner sig. Ved 844 kg bliver Vægtloddet staaende i lang Tid, men saa stiger Kraften atter til 887 kg. Derefter sættes den mellemste Part paa Maskinen, hvorved Belastningen gaar op til 912 kg, det er stadigvæk kun Midterrevnen, der gaber. Maskinens Fasthed forøges, Betonen er tilsidst helt knust foroven. Da Hastigheden yderligere forceres, springer det ene Jærn. Jærnene er ikke gledne.

\*) Figurerne, der oprindeligt var tegnede i samme Maalestok, er ved Reproduktionen blevne formindskede i forskellig Grad.



III<sub>3</sub>, armeret med *Knudejern*, 8,8 cm høj, belastet i *Midten*: Ved 554 kg fremkommer en enkelt Revne lidt tilvenstre for Midten. Senere kommer flere Revner, der alle er meget fine. Den Revne, der er nærmest Midten, lidt tilhøjre for denne, begynder at aabne sig mere; derpaa aabner Revnen nærmest tilvenstre for Midten sig. Senere, ved 1285 kg, knuses Betonen foroven, og endnu en Revne tilvenstre aabner sig. Da Belastningen har naaet 1297 kg, forøges Maskinens Hastighed, hvorved Kraften stiger til 1347 kg, og Bjælkens Overside knuses stærkere. Ved endnu hurtigere Gang knuses Betonen helt, medens Belastningen er 1249 kg.

I<sub>2</sub>, armeret med *Rundjern*, 25,1 cm høj, belastet med *to Enkeltkræfter*: Ved 5881 kg kommer der Revner paa Undersiden. Ved 6426 kg standser Loddet nogen Tid. Senere stiger det til 7000 à 7500 kg, men der viser sig at være en Fejl ved Kraftoverføringen. Da denne er rettet, er Belastningen 6546 kg. Samtidig med at Betonen knuses, glider Jærnene ud af den ene Bjælkeende. Der fremkommer derfor en gabende Revne, der ligger 39 cm fra Bjælkeenden.

II<sub>1</sub>, armeret med *Rundjern*, 25,2 cm høj, belastet med *to Enkeltkræfter*: Ved 7079 kg viser der sig pludselig en stor Revne (ca. 1 mm bred) paa Undersiden, lidt indenfor den ene Enkeltkraft, 43,5 cm fra Bjælkeenden. Senere opstaar der endnu en Revne omtrent symmetrisk med den første med Hensyn til Midten, men kun den første Revne udvider sig, gabes og strækker sig helt op til Oversiden, hvor den forgrener sig i to, og Betonen begynder derpaa at skalle af i Bjælkens Overside ovenover Revnen. Der sættes større Fart paa Maskinen, og man ser da tydeligt Jærnene glide ud af Bjælkeenden.

Efter den første Revnes Fremkomst sank Belastningen betydeligt, men senere steg den igen til 6624 kg.

I<sub>1</sub>, armeret med *Knudejern*, 25,1 cm høj, belastet med *to Enkeltkræfter*: Ved 6292 kg, fremkommer Revner; der ses straks 5, men senere gennemkrydses Undersiden fuldstændig med Revner. Af disse aabner 4 sig og gabes, og een af dem strækker sig fra Understøtningen skraalopad til nærmeste Enkeltkraft. Betonen i Bjælkens Overside knuses og til sidst springer det ene Jærn. Maksimallast: 10 722 kg.

Ved en senere Bortmejsling af Betonen viste det sig, at det andet Jærn var gledet. Denne Glidning er formentlig sket først, hvorved det endnu fastsiddende Jærn har faaet hele Trækraften at overføre, og som Følge deraf er det sprunget.

II<sub>2</sub>, armeret med *Knudejern*, 25,4 cm høj, belastet med *to Enkeltkræfter*: Ved 7110 kg opdages flere Revner, af hvilke Nr. 1 (Fig. 9) aabner sig. Noget senere

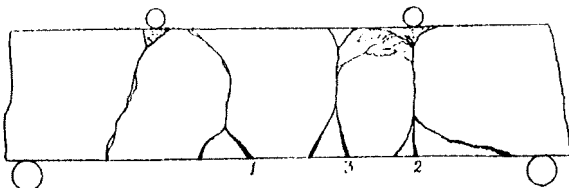


Fig. 9.

aabner Revne 2 sig, og Betonen knuses under Enkeltkraften. Senere opstaar Revne 3, og Betonen knuses mellem Revne 2 og 3, samtidig med at den fuldstændig ødelægges paa Undersiden som ellers. Da Belastningen var kommen op paa 8978 kg, sank Vægloddet ned, men steg atter til 9723 kg. Jærnene er ikke gledne.

III<sub>2</sub>, armeret med *Rundjern*, 25,4 cm høj, belastet i *Midten*: Ved 3643 kg fremkommer der en Revne 6 cm fra Midten; den aabner sig straks et Par Millimeter og naar omtrent helt op til Oversiden af Bjælken. Senere opdages en fin Revne 6 cm paa den anden Side af Midten, men det er kun den første Revne, der aabner sig; denne gabes meget stærkt.

Da den første Revne kom, sank Lasten til 2947 kg, men steg atter til 3480 kg og sank igen til 1850 kg. Ved en Belastning af 3132 kg var Revnen naaet op til 5 mm fra Bjælkens Overside. Da Kraften var sunket til 1850 kg, sættes der større Fart paa Maskinen, hvorved Kraften steg til 2190 kg. Ved denne Belastning saa man Jærnene glide ud af Bjælkeenden. Jærnet var ganske rustent.

III<sub>1</sub>, armeret med *Knudejern*, 25,3 cm høj, belastet i *Midten*: Ved 3403 kg fremkommer to Revner, een paa hver Side af Midten ca. 4 cm fra denne, og Betonen omkring dem ødelægges efterhaanden. Revnerne gabes, og der kommer ny længere ude; dog er der ikke saa mange som ved den tilsvarende lave Bjælke, III<sub>2</sub>. Ved en Belastning af 4138 kg standser Vægloddet en kort Tid, ved 4722 kg knuses Betonen foroven. Der opstaar vandrette Revner (3 og 4 paa Fig. 10), idet

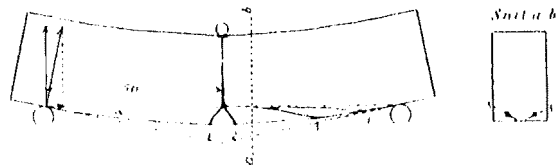


Fig. 10.

Jærnet flyder og løsner sig fra Bjælken, medens det ligger de ved 3 begrænsede Betonstykker med, indtil disse falder af. Da Belastningen har naaet 5125 kg, springer det ene Jærn.

## 8. Forholdet mellem Knudejern og Rundjern.

I Tabel D er Forsøgsresultaterne sammenstillet. Jærnspeendingerne og Betonspeendingerne er beregnet efter de almindelige Formler, altsaa under Forudsætning af at Betonen ingen Trækspænding optager, og at Jærnets Elasticitetskoefficient er 15 Gange saa stor som Betonens. Disse Speendinger har ganske vist kun lidt med Virkeligheden at gøre, men kan dog godt bruges til en Sammenligning af Forsøgene.

For at man kan bedømme Resultaterne, maa det først afgøres, hvad Brudaarsagen i hvert enkelt Tilfælde har været.

Ved de tre høje Bjælker med Rundjern er der ingen Tvivl om, at Bruddet skyldes Jærnenes Gliden. At Betonen samtidig knuses i Oversiden er en nødvendig Følge af Glidningen, thi naar Betonen revner, og

Tabel D.

Mærke	Armering	Højde a cm	Bredde b cm	Betonens Alder	Jærnenes		Jærnprocent $\rho$ %	Nyttehøjde h cm	TrykarealesHøjde x cm	Momentarm $\mu$ cm	Antal Enkeltrætter	Brud			Brudaarsag		Revne								
					Flydegrænse $\sigma_f$ at	Brudgrænse $\sigma_t$ at						Jærnareal f cm <sup>2</sup>	Læst kg	Moment kgm	Betonspænding $\sigma_b$ at	Jærns­pænding $\sigma_j$ at	Adhæsions­spænding $\tau_{ij}$ at	Gl. = Glibning Kn. = Kausning Br. = Brud i Jærnet	Læst kg	Moment kgm.	Betonspænding $\sigma_b$	Jærns­pænding $\sigma_j$ at	Adhæsions­sp. $\tau_{ij}$ at	Betonens Mod­standsmoment W = $\frac{1}{12} b \cdot a^3$	Betonspænding $\sigma_b$ at
I <sub>1</sub>	○	25,1	14,9	5 M. 23 D.	2860	4140	0,770	0,217	23,8	5,35	22,0	2	6546	818,3	98,3	4827	33,8	Gl.	5881	735,1	83,8	4336	30,4	1564,5	47,0
II <sub>1</sub>	○	25,2	15,0	5 M. 27 D.	2815	3960	0,770	0,215	23,9	5,35	22,1	2	7079	884,9	99,8	5196	36,4	Gl.	7079	884,9	99,8	5196	36,4	1587,6	55,7
Middeltal af I og II 0,216												98,6	5012	35,1	91,8 4766 33,4										
III <sub>1</sub>	○	25,4	15,0	5 M. 27 D.	2835	4005	0,770	0,213	24,1	5,37	22,3	1	3643	910,8	101,4	5300	18,8	Gl.	3643	910,8	101,4	5300	18,8	1612,9	56,5
Middeltal af I, II og III 0,215												93,2	5108	96,6 5033 53,1											
I <sub>1</sub>	□	25,1	15,0	5 M. 23 D.	4315	5990	0,806	0,226	23,8	5,44	22,0	2	10722	1340,3	149,4	7563	43,0	Kn. Gl. Br.	6292	786,5	87,7	4438	28,1	1575,0	49,9
II <sub>1</sub>	□	25,4	15,0	5 M. 27 D.	4110	5955	0,806	0,223	24,1	5,48	22,3	2	9723	1215,4	132,8	6770	43,0	Kn.	7110	888,8	97,1	4951	31,4	1612,9	55,1
Middeltal af I og II 0,225												141,1	7167	45,5	92,4 4695 29,8										
III <sub>1</sub>	□	25,3	15,0	5 M. 27 D.	6225	0,806	0,224	24,0	5,47	22,2	1	5125	1281,2	140,9	7168	23,0	Kn. Br.	3403	850,7	93,6	4759	15,3	1600,2	53,2	
Middeltal af I, II og III 0,225												141,0	7167	93,0 4727 52,7											
I <sub>1</sub>	○	8,8	15,0	5 M. 22 D.	2810	4085	0,770	0,685	7,5	2,72	6,6	2	1602	200,2	149,1	3943	27,6	Kn. Gl.	1037	129,6	96,5	2552	17,8	193,6	67,0
II <sub>1</sub>	○	8,9	15,0	5 M. 27 D.	2795	3775	0,770	0,675	7,6	2,74	6,7	2	1766	220,8	160,8	4297	30,0	Kn. Br.	1138	142,3	103,7	2763	19,3	198,0	71,8
Middeltal af I og II 0,680												155,0	4120	23,8	100,1 2658 18,6										
III <sub>1</sub>	○	8,8	15,0	5 M. 26 D.	2805	4020	0,770	0,685	7,5	2,72	6,6	1	912	223,0	169,8	4490	16,0	Kn. Br.	541	135,3	100,8	2664	9,5	193,6	69,9
Middeltal af I, II og III 0,682												159,9	4243	100,5 2661 69,6											
I <sub>1</sub>	□	8,7	15,0	5 M. 23 D.	6170	0,806	0,726	7,4	2,74	6,5	2	2260	282,5	211,9	5403	34,3	Kn.	1057	132,1	99,1	2526	16,0	189,2	69,8	
II <sub>1</sub>	□	8,8	15,0	5 M. 27 D.	6435	0,806	0,716	7,5	2,76	6,6	2	2396	299,5	219,5	5627	35,8	Kn.	1218	152,1	111,4	2864	18,2	193,6	78,6	
Middeltal af I og II 0,721												215,7	5515	35,1	105,3 2695 17,1										
III <sub>1</sub>	□	8,8	15,0	5 M. 26 D.	4220	6325	0,806	0,716	7,5	2,76	6,6	1	1317	336,8	246,6	6341	20,4	Kn.	554	138,5	101,4	2608	8,4	193,6	71,5
Middeltal af I, II og III 0,719												226,0	5790	103,3 2652 73,3											

Revnen gaber, reduceres Trykarealet til to skarpe Kanter, der naturligvis maa knuses.

At Jærnene i Bjælke III<sub>2</sub>, der belastedes med en Enkeltkraft i Midten og derfor kun har halv saa stor en AdhæSSIONsspænding som de to andre, alligevel er gledne, er meget interessant, thi det viser, at det ikke i og for sig er AdhæSSIONsspændingens Størrelse, men derimod Jærnets Flyden, der er Skyld i Glidningen. Hvis dette bekræfter sig, har AdhæSSIONsspændingen slet ikke den Betydning, man nu tillægger den, thi saafremt Jærnets Trækspænding er for høj, kan man ikke sikre sig mod Glidning ved at bruge spinkle Jærn.

Ved de tre høje Bjælker med Knudejærn var Brudarsagen nærmest den samme. Jærnet flyder, hvorved een eller flere Revner gaber, og Betonen foroven knuses. De to Betonflader, der trykker mod hinanden, faar der- ved en mere modstandsdygtig Form (Fig. 11), Moment-

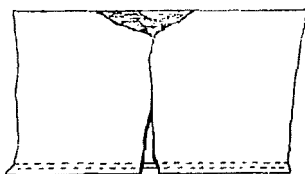


Fig. 11.

armen bliver kortere, Jærns-pændingen stiger, og til sidst glider Jærnet eller trækkes over, forudsat at Betonens Styrke er tilstrækkelig. I modsat Fald ødelægges Betonen fuldstændig, uden at Jærnets Modstandsevne er udtømt (Bjælke II<sub>2</sub>). Grunden til disse Bjælkers større Styrke er altsaa Knudejærnenes højere Flydegrænse og deres større Glidemodstand, der tillader en Overskridelse af denne Flydegrænse.

Af de tre lave Bjælker med Rundjærn blev I<sub>1</sub> øde- lagt som Følge af Jærnenes Glidning. Jærnene i II<sub>3</sub> og III<sub>1</sub> gled ikke, men Betonen knustes paa Grund af Jærnets Flydning, og da Maskinens Hastighed forøgedes, sprang Jærnene. Jeg betragter det dog ikke som ude- lukket, at det er den hurtige Gang, der har bevirket Overtrækningen, og at man ved langsom Gang havde faaet Jærnene til at glide.

Ved de tre lave Bjælker med Knudejærn er der derimod ikke Tale om Glidning, men Bruddet skyldes Betonens Knusning som Følge af Jærnets Flydning.

Da Jærnets Flydning saaledes ved alle Bjælkerne kan betragtes som den egentlige Brudaarsag, idet den enten har medført en Glidning eller en Knusning giver den teoretiske Jærns-pænding i Brudøjeblikket den bedste Maalestok for Knudejærnenes Overlegenhed over Rund- jærnene.

For de høje Bjælker med Armeringsprocent ca. 0,2 er Middeltallet af  $\sigma_j$  ved Rundjærn og Knudejærn hen- holdtvis 5108 at. og 7167 at.  $\sigma$ : 40 % højere for Knude- jærnene end for Rundjærnene.

For de lave Bjælker med Armeringsprocent ca. 0,7 er Middeltallet af  $\sigma_j$  henholdsvis 4243 at og 5790 at  $\sigma$ : 36 % højere for Knudejærnene end for Rundjærnene.

Medens Knudejærnene saaledes i væsentlig Grad forøger Bjælkernes Bæreevne, har de ingen Indflydelse paa Revnedannelsen. Den første Revne viser sig lige saa hurtigt ved dem som ved Rundjærnene.

Hvis man under almindelige Forhold regner med en tilladelig Jærns-pænding af 1000 at, vil man efter disse Forsøg at dømme kunne regne med 1350 at for Knudejærnene og dog have ca. 2 Gange Sikkerhed mod Revner.

Man skal naturligvis vogte sig for at drage alt for vidtgaende Slutninger af Forsøgene; det er saaledes muligt, at man med en yngre Beton vilde komme til noget andre Resultater, og det maa erindres, at man ved at ombøje Rundjærnet og føre det op i Bjælkens Over- side henne ved Understøtningen i betydelig Grad kan raade Bod paa dets ringe Glidemodstand. Alligevel tror jeg, at man i stigende Grad vil gaa over til at benytte disse eller lignende Specialjærn, og at de, naar deres Pris engang falder, ganske vil fortrænge Rundjærnene.

Det er dog sikkert ikke alene Jærnenes Form, men ogsaa deres høje Flydegrænse, der betinger Virkningen, og jeg er overbevist om, at man ved at anvende Rund- jærn af en haardere Kvalitet end den almindelige vil kunne opnaa en hel Del. Da saadant haardt Staal an- tagelig kan leveres til omtrent samme Pris som det bløde, burde der anstilles nogle Forsøg dermed.

#### 9. Andre Forsøgsresultater.

Som det fremgaar af Tabel D er de teoretiske Brudspændinger for Jærnet i de svagt armerede Bjælker langt større end Jærnets Brudgrænse, et Fænomen, der er godt kendt fra tidligere Forsøg, men hidindtil har savnet en Forklaring. Denne Forklaring vil jeg prøve paa at give.

Man sætter sig bedst ind i Forholdene ved at tænke paa en Bjælke, der er belastet, ikke i en Prøve- maskine, men direkte med en Vægt; thi naar Forsøget sker i en Prøvemaskine, tilsløres Forholdene derved, at Belastningen aftager, saa snart Bjælken bøjer sig noget.

Naar en Jærnbetonbjælke er belastet med en Vægt, tager Betonen omtrent alle Trækspændingerne, indtil den revner, i samme Øjeblik faar Jærnet hele Trækket. Der er da tre Muligheder: Enten kan Jærnet taale denne Paavirkning, eller det springer, eller det glider.

Den første Mulighed er kun til Stede ved stærkt armerede Bjælker, og da Formlerne her fører til rimel- lige Jærns-pændinger, behøver vi ikke at beskæftige os med denne Mulighed.

Saaframt Jærnet er saa svagt, at det springer i det Øjeblik, Betonen revner, er det klart, at Formlerne maa give for høje Brudværdier. Man behøver blot at tænke sig Jærnarealet uendelig lille, i saa Fald vil Formlen give Jærns-pændingen uendelig stor.

Tilbage er da kun den tredie Mulighed, at Jærnene begynder at glide som Følge af den pludselige Belast- ning. Men i saa Fald bøjer Bjælken sig stærkt, og forudsætter man friktionsløse Understøtninger, vil disses Reaktionen virke vinkelret paa Bjælkens Underflade altsaa ikke længer lodret, men hældende ind mod Midten, saa at Reaktionen faar en lodret og en vandret Komposant, af hvilke den sidste vil virke som et Horizontaltryk, der affaster Jærnet.

Tager vi f. Eks. Bjælken III<sub>1</sub>, saa er Styrken af dens Jærn 6225 at eller ialt: 6225 · 0,806 = 5020 kg. Anslaa

Momentarmen til 23,5 cm, skulde Bjælken kunne optage Momentet:  $5020 \cdot 0,235 = 1178$  kgm. Momentet er derimod fundet at være 1281 kgm svarende til et Træk af:  $1281 : 0,235 = 5460$  kg. Gaar man ud fra, at Bjælkens Ende i Brudøjeblikket har drejet sig en Vinkel  $\alpha$ , og at Midtpunktets Nedbøjning har samme Størrelse, som om Bjælken havde højet sig efter en Parabel (Fig. 10), saa bliver Horizontaltrykket:  $\frac{1}{2} (5125 + 53) \operatorname{tg} \alpha = 2589 \operatorname{tg} \alpha$ , og Nedbøjningen  $\frac{0,5}{2} \operatorname{tg} \alpha$ .

For at der skal være Ligevægt i Midtvertværsnittet, maa Trækkraften i Jærnet have et Moment med Hensyn til Trykcentret, der er lig med Differensen mellem den lodrette og den vandrette Reaktions Moment med Hensyn til samme Punkt. Antages Trykcentret at ligge 0,5 cm under Bjælkens Overside, og betragtes Trækket i Jærnet som en given Størrelse, nemlig 5020 kg, faas derfor:

$$1281 - 2589 \operatorname{tg} \alpha \left( 0,248 - \frac{0,5}{2} \operatorname{tg} \alpha \right) = 5020 \cdot 0,235$$

$$1281 - 642 \operatorname{tg} \alpha + \frac{1}{2} \cdot 1294,5 \operatorname{tg}^2 \alpha = 1178$$

$$1294,5 \operatorname{tg}^2 \alpha - 1284 \operatorname{tg} \alpha + 206 = 0$$

$$\operatorname{tg}^2 \alpha - 0,992 \operatorname{tg} \alpha + 0,159 = 0$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,496 \pm \sqrt{0,246 - 0,159} = 0,496 \pm \sqrt{0,087}$$

$$= 0,496 \pm 0,295 = 0,201.$$

Der kræves altsaa blot en Nedbøjning af  $\frac{0,5}{2} \cdot 0,201 = 0,05$  m for at forklare de høje teoretiske Jærnsplændinger.

Hvad Revnedannelsen angaar, da er det jo en Kendsgerning, at Beton kun kan forlænge sig 0,1 à 0,2 mm pr. m, før den revner, og da Jærnet følges med Betonen, vil den samtidige Jærnsplænding være:  $\frac{0,1 \text{ à } 0,2}{1000} \cdot 2 \cdot 100 \cdot 000 = 210 \text{ à } 420$  at., eller rettere noget

mindre, da Jærnet ligger et Stykke fra Bjælkens Underside.

I de to sidste Spalter af Tabel D findes Bjælkernes Modstandsmoment uden Hensyn til Jærnet,  $W = \frac{1}{6} b a^2$ , og de Kantspændinger, man faar ved at dividere dette Modstandsmoment op i Revnemomentet. Som Middeltal for de seks høje Bjælker havest:  $W = 1575,5 \text{ cm}^3$  og  $\sigma_b^t = 52,9$  at., som Middeltal for de seks lave Bjælker:  $W = 193,6 \text{ cm}^3$  og  $\sigma_b^t = 71,5$  at.

Tager man Hensyn til Jærnet ved at tænke sig det erstattet af et 11 Gange saa stort Betonareal, faas for de høje Bjælker:  $W = 1702,5 \text{ cm}^3$ ,  $\sigma_b^t = 49,5$  at. og for de lave Bjælker:  $W = 213,3 \text{ cm}^3$ ,  $\sigma_b^t = 64,8$  at. Jærnsplændingen vilde da blive henholdsvis 443 at. og 450 at.

Man maa gaa ud fra, at alle Bjælkerne er revnede ved samme Værdi af  $\sigma_b^t$ , og det kunde derfor se ud, som om Jærnets Elasticitetskoefficient var langt over 10 Gange Betonens, men det er dog næppe Tilfældet. Den store Forskel mellem de to Værdier af  $\sigma_b^t$  skyldes sikkert, at Revnerne er opdaget forholdsvis senere ved de lave Bjælker end ved de høje. Revnerne er jo nemlig til Stede, noget før man kan se dem, det er først, naar Jærnet forlænger sig tilstrækkeligt, at de bliver synlige, og dette sker des senere, jo stærkere Bjælken er armeret.

E. Suenson.  
M. Ing. F.