

Denne fil er downloadet fra
Danmarks Tekniske Kulturarv
www.tekniskkulturarv.dk

Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek og indeholder scannede bøger og fotografier fra bibliotekets historiske samling.

Rettigheder

Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på
www.tekniskkulturarv.dk/about

Er du i tvivl om brug af værker, bøger, fotografier og tekster fra siden, er du velkommen til at sende en mail til *tekniskkulturarv@dtu.dk*

THORUP:
JERNBETON
1911.

DB

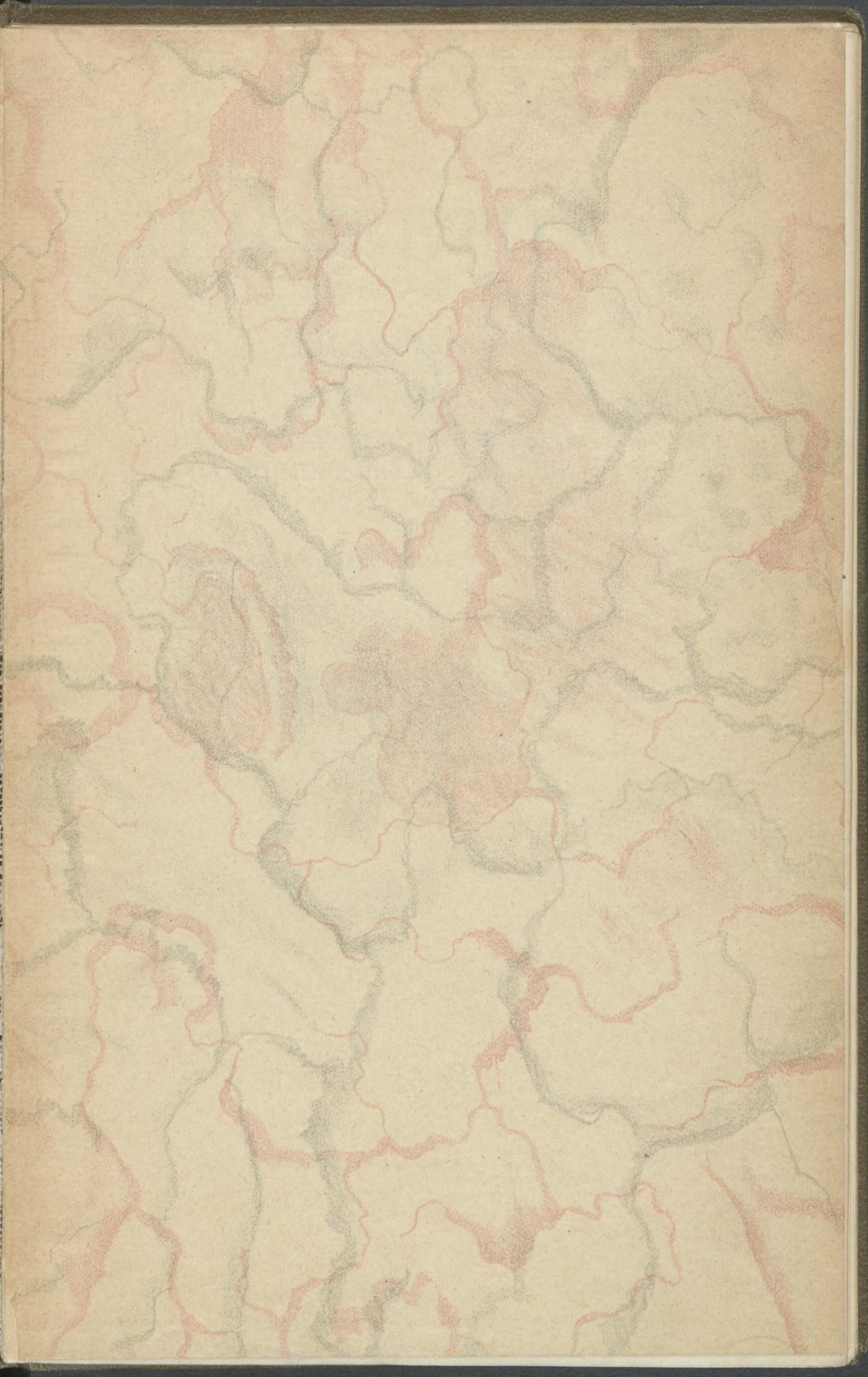
*693 55(022)

92

693 55 (022)



693 55 (022)



JERNBETON

VEJLEDNING

TIL BRUG VED

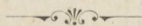
UNDERVISNINGEN I DAGSKOLEN
FOR BYGNINGSHAANDVÆRKERE

VED

DET TEKNISKE SELSKABS SKOLE I KJØBENHAVN

AF

CHR. J. THORUP,
INGENIØR, CAND. POLYT.



KJØBENHAVN

TRYKT HOS NIELSEN & LYDICHE (AXEL SIMMELKJÆR)

1911

JERRIBETON

VERMONT

CHURCH

THE CHURCH OF THE VERMONT

AND THE CHURCH OF THE VERMONT

1840

THE CHURCH OF THE VERMONT

THE CHURCH OF THE VERMONT

THE CHURCH OF THE VERMONT

THE CHURCH OF THE VERMONT

THE CHURCH OF THE VERMONT

1840

FORORD.

Nærværende Bog er nærmest bestemt som Grundlag for Undervisningen i Det tekniske Selskabs Skole for Bygningshaandværkere, hvorfor der er forudsat Kendskab til Statikken i det Omfang, som gives i K. Monrads Ligevægtslære og Styrkelære.

Ved Udarbejdelsen har jeg lagt an paa at gøre den saa letfattelig, at Skolens tidligere Elever er i Stand til at tilegne sig den ved Selvstudium.

Naar jeg har medtaget Clapeyrons Ligning er det for dog at give et Fingerpeg i Retning af, hvordan man kan klare sig, naar de førømtalte Forudsætninger ikke slaar til.

Kjøbenhavn, Oktober 1911.

Chr. J. Thorup.

FOREWORD

The purpose of this book is to provide a comprehensive survey of the history and development of the various branches of the natural sciences, from the earliest times to the present day. It is intended for the use of students and teachers in schools and universities, and for the general reader who is interested in the progress of human knowledge.

The book is divided into two main parts. The first part, which forms the greater part of the volume, is devoted to a detailed account of the history of the various sciences, from the earliest times to the present day. The second part, which is much shorter, is devoted to a discussion of the present state of the various sciences, and to a consideration of the prospects for the future.

The book is written in a clear and concise style, and is intended to be as accessible as possible to the general reader. It is hoped that it will be found useful and interesting to all who read it.

THE AUTHOR

INDLEDNING.

VED en Jernbetonkonstruktion forstaas en Konstruktion bestaaende af Jern og Beton, forbundne paa en saadan Maade, at Betonen optager Trykspændingerne, Jernet Trækspændingerne. Disse Konstruktioner byde adskillige Fordele fremfor de almindelige Træ- og Jernkonstruktioner.

Økonomisk stiller de sig almindeligvis adskilligt billigere end Jernkonstruktionerne. Saafermt Konstruktionen befinder sig i fri Luft kommer hertil, at Jernkonstruktionen fordrer stadig Vedligeholdelse til Maling o. l., hvorimod Jernbetonen ikke fordrer nogensomhelst Vedligeholdelse. Jernbetonkonstruktionerne har endvidere den Fordel at kunne tildannes i enhver ønsket Form, hvorved de kunne komme til at indgaa som dekorative Led i Bygningsværket. Anvendt til Hushygning ere disse Konstruktioner absolut brandsikre, og da de blive støbte som een Sten og forbinde sig særdeles inderligt med Murværket, danne de en bedre Forankring for Ydermurene, end man kan opnaa ved noget andet Materiale.

Ved dette Materiale maa der fordres en særlig omhyggelig Udførelse, thi en Unøjagtighed ved Jernenes Anbringelse, utilstrækkelig komprimeret Beton o. l. kan bevirke, at Konstruktionen bliver usikker og dermed ubrugelig. Udførelsen maa derfor kun betros til fuldkommen paalidelige Folk, og der maa

føres et meget effektivt Tilsyn. Ændringer i den færdige Konstruktion er i de fleste Tilfælde umulige at udføre; og kan det endelig lade sig gøre er det meget besværligt og derfor kostbart. Almindeligvis vil det være nødvendigt at bruge større Konstruktionshøjde end ved Jernkonstruktioner, og skal Konstruktionshøjden af en eller anden Grund gøres lille vil det fordre forøget Jernforbrug og altsaa større Udgift.

Betonens og Jernets Samvirken er betinget af følgende Egenskaber:

- 1) Det i Beton indstøbte Jern er beskyttet mod Rustdannelse, saafremt den anvendte Beton er meget cementrig og har lejret sig tæt omkring Jernet. Dette sidste opnaar man ved at anvende en forholdsvis fugtig Beton.
- 2) Adhæsionen mellem Jern og Beton er ret stor. Størrelsen er afhængig af de anvendte Materialer. Den er størst ved cementrig Beton og ru Jern overflade. Snavs, Fedt, Maling o. l. paa Jernet maa omhyggelig fjernes inden Indstøbningen, da det ødelægger Adhæsionen. Adhæsionens Størrelse andrager, ved cementrig Beton og god Udførelse, almindeligvis mellem 20 og 40 kg/cm².
- 3) Temperaturudvidelseskoefficienten er praktisk talt ens for Jern og Beton. Saafremt dette ikke var Tilfældet vilde Jernet løsne sig ved Temperaturændringer og Samvirkningen ophøre.

Materialerne, som anvendes til Jernbetonkonstruktioner skulle være af prima Kvalitet, og opfylde de Betingelser, som er opstillede i »Normerne«^{*)}.

Hvad Gruset angaar er Bakkegrus at foretrække for Strandgrus. I alle Tilfælde maa der stilles den Betingelse, at Gruset er skarpt og grovkornet.

^{*)} Saaledes betegnes her og i det følgende: Normer for Jernbetonkonstruktioner udgivne af Dansk Ingeniørforening.

Cementen skal være langsomt bindende.

At angive et Blandingsforhold, som kan tjene som Standard er umuligt, idet dette maa rette sig efter de anvendte Materialer. Ved Anvendelse af Grus med blandet Kornstørrelse kan man nøjes med mindre Cement, end hvis Materialet har ens Kornstørrelse. Ved forholdsvis groft Materiale kan man nøjes med mindre Cement end ved forholdsvis fint Materiale. Ved Anvendelse af groft Grus og Nøddesingels er et meget anvendt Blandingsforhold 1:2,5:3,5. Saaframt der stilles Fordring om Vandtæthed bør man næppe anvende magrere Blanding end 1:2:3.

Hvad Materialforbruget angaar hidsættes en Tabel, som angiver Forbruget af de forskellige Materialer til 1 m³ færdig Beton for forskellige Blandingsforhold. Det bemærkes, at Angivelserne selvfølgelig ikke er absolute men maa betragtes som gode Tilnærmelser.

Blandingsforhold.	Til 1 m ³ færdig Beton medgaar		
	Cement kg.	Grus m ³ .	Skærver eller Singels m ³ .
1:1,5:2	490	0,525	0,7
1:2:3	373	0,532	0,8
1:2:4	322	0,46	0,92
1:2,5:3,5	315	0,56	0,79
1:2,5:5	264	0,47	0,94
1:3:4	269	0,58	0,77
1:3:5	241	0,51	0,86
1:3:6	219	0,47	0,94

Skønt tørstøbt, godt stampet Beton er stærkere end Beton, som er støbt fugtigt vil man altid anvende en ret fugtig Beton, da den lejrer sig bedre om Jerne. Desuden vil Risikoen paa Grund af mindre

god Behandling være mindre ved fugtig Beton end ved tør, da utilstrækkelig Stampning er meget skadeligere ved denne end ved hin. (I varmt, tørt Vejr maa Betonen være fugtigere end i køligt, fugtigt Vejr).

Maskinblanding er altid at foretrække for Haandblanding.

Materialernes Styrke- og Elasticitetsforhold.

Jernet. Der anvendes saa godt som altid blødt Staal. Elasticitetskoefficienten $E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$. Brudgrænsen ca. 4000 kg/cm^2 . Tilladelig Paavirkning regnes som oftest til 1000 kg/cm^2 . I de fleste Tilfælde tillader Normerne dog 1200 kg/cm^2 .

Betonen. Styrke- og Elasticitetsforhold retter sig efter Materialernes Beskaffenhed, Blandingsforhold, og ikke mindst Arbejdets Udførelse. Medens Træk- og Trykstyrke er nogenlunde ens for Jern er dette langt fra Tilfældet for Beton.

Betonens Trækstyrke er ringe, og Betonen er i det hele taget et meget upaalideligt Materiale overfor Træk. Derfor fordrer alle Landes Normer, at Konstruktionerne beregnes som om Betonen ikke optager nogensomhelst Trækspænding. I Beton der bliver strakt skal der altsaa indstøbes saa meget Jern, at dette alene kan optage alle Trækspændingerne.

Trykstyrken er derimod ret betydelig, men dens Størrelse retter sig efter Blandingsforhold, Vandtilsætning, Udførelsens Omhyggelighed, Hærdningstiden og den Temperatur Betonen er udsat for, navnlig i den første Tid efter Støbningen. Ved Temperaturer af 10^0 — 20^0 vil det almindeligvis vise sig, at Styrken er 1,5 à 2 Gange saa stor efter 28 Dages Forløb som efter 7 Dages, og atter efter 1 Aars Forløb 1,5 à 2 Gange saa stor som efter 28 Dages. Hærdningen fortsættes gennem mange Aar, men bliver langsommere og langsommere med Tiden. Med den fugtige Beton, man bruger til disse Konstruktioner, og ved god Udførelse, vil Trykstyrken for Blandingsforhold

liggende mellem 1:3:4 og 1:2:3 efter 28 Dages Hærdning i ovennævnte Temperatur almindeligvis variere mellem 200 kg/cm² og 300 kg/cm². Den tilladelige Paavirkning sættes sædvanlig til 40 kg/cm², undertiden lidt mere. (Nærmere desangaaende henvises til Normerne). Styrken mod Forskydning er forholdsvis ringe. Dens Størrelse er almindeligvis lidt større end Adhæsionen mellem Jern og Beton; altsaa 20 à 40 kg/cm². Den tilladelige Forskydnings- (og Adhæsions-)Spænding sættes almindeligvis til 5 kg/cm² (se Normerne).

Medens Elasticitetskoefficienten for Jern er en konstant Størrelse (Jernet følger Hookes Lov) er dette ikke Tilfældet for Beton. Her er Elasticitetskoefficienten meget forskellig og ændrer sig ikke blot efter Blandingsforholdet og Betonens Hærdningstid, men ogsaa efter Paavirkningens Størrelse. Ved meget nøjagtigt udførte Forsøg med Blandingsforhold 1:2:3 har det vist sig, at man ved Paavirkninger af

ca. 10 kg/cm.	har E =	ca. 250000 kg/cm ²	
- 40	— »	E = - 200000	—
- 200	— »	E = - 140000	—

I de ved Beregningerne anvendte Formler indgaar selve Elasticitetskoefficienten ikke, men derimod Forholdet mellem Jernets og Betonens Elasticitetskoefficienter. Dette Forhold varierer altsaa omtrent saaledes:

$$\text{ved ca. 10 kg/cm}^2 \text{ } n = \frac{E_i}{E_b} = \frac{2100000}{250000} = \text{ca. } 8.$$

$$\text{ved ca. 40 kg/cm}^2 \text{ } n = \frac{2100000}{200000} = \text{ca. } 10.$$

$$\text{ved ca. 200 kg/cm}^2 \text{ } n = \frac{2100000}{140000} = \text{ca. } 15.$$

Det er ved Beregning af Konstruktioner, paavirkede til Bøjning, man faar Brug for Størrelsen n .

Fra Statikken ved vi nu, at i et Legeme, som er paa-
virket til Bøjning, vil Fiberspændingen vokse med Af-
standen fra den neutrale Akse. Efter det forud sagte
vil dette altsaa sige, at Elasticitetskoefficienten ikke
alene varierer fra Tværsnit til Tværsnit, men ogsaa
indenfor hvert enkelt Tværsnit. Med saa udviklede
Forhold vil en Beregning, om i det hele taget mulig,
være et uhyre Arbejde. Man nøjes derfor med en
Tilnærmelse, idet man fastslaar en konstant Størrelse
for n . Normerne fastslaar denne Størrelse til 15,
altsaa svarende til Betonens Forhold omkring Brud-
belastning.

Jernbetonplader.

Den almindeligste Jernbetonkonstruktion, paa-
virket til Bøjning, er Pladen, som hviler paa 2 Under-
støtninger. En saadan Plade vil under Indvirkning
af Belastningen søge at bøje sig saaledes, at der for-
oven kommer Trykspændinger, forneden Trækspæn-
dinger. Som tidligere omtalt kan Betonen optage
Trykspændingerne, hvorimod der i den underste Del
af Pladen maa indlægges Jern til Optagelse af Træk-
spændingerne. Dette Jern, som selvfølgelig skal ligge
i Retning fra Understøtning til Understøtning, maa
for at blive saa virksomt som muligt, ligge saa nær
Underkanten af Pladen som muligt. Men paa den
anden Side maa man selvfølgelig sørge for, at det
bliver fuldstændig omhyllet af Beton, bl. a. for at be-
skytte det mod Ild ved en eventuel Brand. Et Be-
tonlag paa 1 cm under Jernene kan anses for pas-
sende. Med de smaa Jerndimensioner, som alminde-
ligvis bruges til Plader, regner man ofte 1,5 cm fra
Pladeunderkant til Jernenes Tyngdepunkt. Ved Di-
mensioneringsformlerne udfinder man, hvor stor Jern-
tværsnittet skal være i en Pladebredde af 1 m. Jer-

nets Dimension bestemmes da saaledes at Afstanden mellem Jernene bliver 8 à 15 cm. Har man f. Eks. fundet, at det nødvendige Jerntværsnit er $6,28 \text{ cm}^2$ kan man bruge $8\text{Ø}10 \text{ mm}$ pr. m (saaledes betegnes 8 Stk. 10 mm Rundjern i en Pladebredde af 1 m). Man kunde ogsaa vælge en mindre Dimension og bruge flere Jern f. Eks. $10\text{Ø}9 \text{ mm}$ (se Rundjernstabelen). Disse Jern kaldes Bærejern.

For at holde Bærejernene paa Plads under Betoneringen, og for at fordele Belastningen over flere Jern, indlægger man sædvanlig ogsaa Jern vinkelret paa Bærejernene. Disse Jern kaldes Fordelingsjern, og der anvendes sædvanlig 5 mm eller 7 mm Rundjern, som lægges i en Afstand af 20 à 35 cm. De lægges ovenpaa Bærejernene og bindes til disse med 1 mm udglødet Jerntraad.

Hvad Pladetykkelserne angaar kan man bestemme dem af Dimensioneringsformlerne. For Brandsikkerhedens Skyld gør man dem sjældent mindre end 8 cm, selv om Beregningerne viser, at der kunde bruges mindre Tykkelse. Selv om man saaledes bruger mere Beton end strængt nødvendigt, vil det dog ikke fordyre Konstruktionerne synderligt, da Jernindlægget i saa Fald kan gøres mindre. Af statiske Grunde er der ingen højere Grænse for Pladetykkelser. Men i Husbygningen vil man dog næppe bruge tykkere Plade end 15 cm, da den vil blive dyrere, end en Konstruktion med Bjælker og tyndere Plade.

Indre Kræfter og Spændinger.

I en Jernbetonplade (saavel som i en Konstruktion af ethvert andet Materiale) der paavirkes til Bøjning vil der opstaa Normalspændinger og Forskydningsspændinger.

1) Normalspændinger er saadanne indre Spændinger

eller Kræfter, som virke normalt (vinkelret) paa Tvær-snittene. Disse Spændinger er dels Træk- dels Tryk-spændinger, og forudsættes kendte fra Statiken.

2) Forskydningsspændingerne ere dels vandrette, dels lodrette Forskydninger. Medens Normalspændingerne spiller Hovedrollen ved Jernkonstruktioner, som udelukkende beregnes derefter, er Forskydningerne mindst lige saa farlige ved Jernbetonen.

a) De vandrette Forskydninger. Fig. 1 og 2 forestiller 2 Træbjælker af samme Dimension, som er lagt oven-

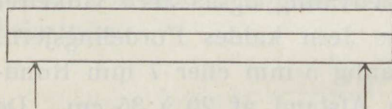


Fig. 1.

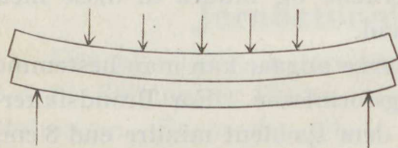


Fig. 2.

paa hinanden. Under Indflydelse af en Belastning søge de 2 Bjælker at forskyde sig paa hinanden som vist paa Fig. 2. Dette er en Følge af, at hver Bjælke virker for sig og optager den halve Belastning, saafremt der ingen Gnidningsmodstand

var mellem dem. Der opstaar derved Trækspændinger i den øverste Bjælkes nederste Fibre og Trykspændinger i den nederste Bjælkes øverste Fibre. De strakte Fibre forlænges, de trykkede Fibre forkortes, og derved fremkommer den viste Forskydning. Ved at afmærke Punkter, der i den oprindelige Stilling laa lodret over hinanden vil man under Bøjningen se, at der ingen Forskydning foregaar i Bjælkemidten og at Forskydningen vokser henimod Understøtningerne. Saafremt man fordybler eller sammenbolter Bjælkerne, eller man kun tager 1 Bjælke, vil Forskydningen ikke kunne foregaa. Men der vil være en Bestræbelse dertil tilstede. Denne vil forsøge at overskære Dyblerne eller Boltene, eller, hvis man bruger 1 Bjælke, at faa denne til at revne paa langs. Det er dette Fænomen, som kaldes vandrette Forskydningsspændinger. Disse

Spændinger er selvfølgelig ogsaa tilstede i Jernbetonkonstruktionen; deres Størrelse kan, som det senere skal vises, beregnes. Saafremt den bliver større end ca. 5 kg/cm^2 , hvad der sjældent vil ske ved Plader, vil der være Fare for at Konstruktionen skal revne, og der maa da indstøbes særlige Armeringsjern i Lighed med Boltene, hvormed man bolter Træbjælkerne sammen.

b) De lodrette Forskydninger forudsættes bekendte fra Statiken.

Beregning af Jernbetonplader.

Vi vilde først undersøge Størrelsen af Spændingerne i en Plade af $b \text{ cm}$ Bredde med $h \text{ cm}$ Tykkelse, armeret i Træksiden med et Jerntværsnit $F_i \text{ cm}^2$.

Jernets Tyngdepunkts Afstand fra Pladeunderkant kaldes a . $h \div a = h_n$ (Nyttehøjden).

Pladen er paavirket af et Bøjningsmoment $M \text{ kgcm}$.

Afstanden fra Pladens Overkant til den neutrale Akse kaldes x .

Som tidligere omtalt regner man som om den strakte Beton ingen Spændinger optager. Trækspændingen i Jernet betegnes med $\sigma_i \text{ kg/cm}^2$.

Trykspændingerne vil ved den neutrale Akse være Nul og vil vokse jævnt fra den neutrale Akse til Betonens trykkede Kant, hvor den kaldes $\sigma_b \text{ kg/cm}^2$. (Se Fig. 3).

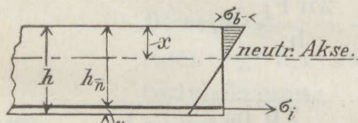


Fig. 3.

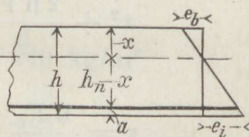


Fig. 4.

E_i Jernets Elasticitetskoefficient.

E_b Betonens

$$\frac{E_i}{E_b} = n; \quad \frac{\sigma_i}{\sigma_b} = m.$$

e_b betegner Betonens Sammentrykning pr. cm,
 e_i » Jernets Forlængelse pr. cm.

$$\text{Af Fig. 4 fremgaar } \frac{e_b}{x} = \frac{e_i}{h_n \div x} \quad (1).$$

Idet Hookes Lov antages at gælde have

$$e_b = \frac{\sigma_b}{E_b}; \quad e_i = \frac{\sigma_i}{E_i}$$

$$\text{som indsat i (1) giver } \frac{\sigma_b}{E_b x} = \frac{\sigma_i}{E_i (h_n \div x)}$$

$$\text{hvoraf } x = \frac{n}{n + m} \cdot h_n. \quad (2).$$

Den første Betingelse for Ligevægt er nu, at Summen af Trykspændingerne er lig Summen af Trækspændingerne:

$$\frac{1}{2} \sigma_b x b = \sigma_i \cdot F_i \text{ hvoraf}$$

$$\frac{1}{2} x b = m \cdot F_i$$

$$m = \frac{b x}{2 F_i},$$

som indsat i (2) giver

$$x = \frac{n}{n + \frac{b x}{2 F_i}} h_n.$$

$$2 n F_i x + b x^2 = 2 n F_i h_n$$

$$x^2 + \frac{2 n F_i}{b} x \div \frac{2 n F_i}{b} h_n = 0.$$

$$x = \frac{n F_i}{b} \left(\sqrt{1 + \frac{2 b h_n}{n F_i}} \div 1 \right) \quad (3).$$

Da Trykket fordeler sig efter en Trekant vil Afstanden mellem Jernets Tyngdepunkt (Trækcentret)

og Trykcentret være $h_n \div \frac{3}{x} = h_t$.

Trykfejl.

Side 14, L. 1 f. n.: $\frac{3}{x}$, læs: $\frac{x}{3}$.

Momentet af de indre Kræfter kan følgelig udtrykkes paa følgende 2 Maader:

$$F_i \cdot \sigma_i \cdot h_t \text{ og } \frac{1}{2} \cdot \sigma_b \cdot x \cdot b \cdot h_t$$

Disse Størrelser maa hver for sig være lige saa store som det Pladen paavirkende Bøjningsmoment. Altsaa

$$M = F_i \cdot \sigma_i \cdot h_t, \text{ hvoraf}$$

$$\sigma_i = \frac{M}{F_i \cdot h_t} \quad (4).$$

$$M = \frac{1}{2} \sigma_b \cdot x \cdot b \cdot h_t, \text{ hvoraf}$$

$$\sigma_b = \frac{2 M}{x \cdot b \cdot h_t} \quad (5).$$

Af (3) kan man nu finde den neutrale Akses Beliggenhed, og ved Indsættelse af x i (4) og (5) hhv. Jernets Trækspænding og største Betontrykspænding.

Eks. 1. En Jernbetonplade af 10 cm Tykkelse er armeret med 9 Ø 9 mm pr. m. Spændvidden er 2,4 m. Belastning 250 kg/m². Find de optrædende Beton- og Jernspændinger.

Belastning:

$$\text{Egenvægt } 0,1 \cdot 2400 = 240 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Gulvbelægning} = 25 \text{ —}$$

$$\text{Nyttelast} = 250 \text{ —}$$

$$515 \text{ —}$$

$$M = \frac{1}{8} \cdot 515 \cdot 2,4^2 = 370 \text{ kgm} = 37000 \text{ kgcm.}$$

$$h = 10; h_n = 8,5; F_i = 5,73 \text{ cm}^2.$$

$$x = \frac{15 \cdot 5,73}{100} \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 8,5}{15 \cdot 5,73}} \div 1 \right) = 0,86 \cdot 3,56 = 3,06.$$

$$\frac{x}{3} = 1,02; h_t = 7,48.$$

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot 37000}{100 \cdot 3,06 \cdot 7,48} = 32,3 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\sigma_i = \frac{37000}{5,73 \cdot 7,48} = 863 \text{ kg/cm}^2.$$

Dimensionering.

Ved Hjælp af (3), (4) og (5) kan man undersøge, om en Plade med givne Dimensioner og given Armering er stærk nok til at bære en eller anden Belastning. Ofte har man imidlertid Brug for en Formel, ved Hjælp af hvilken man kan bestemme Dimensioner og Armering, naar Belastningen er bekendt. Men der bliver ogsaa her Brug for at skønne Dimensionen forud, idet Egenvægten saa godt som altid spiller en væsentlig Rolle.

Lad os antage, at vi skulle dimensionere en Plade, som paavirkes af Momentet M kgcm pr. m Bredde.

Med de samme Betegnelser som før, ved vi straks (Formel 2), at

$$x = \frac{n}{n + m} h_n \quad (6).$$

Som benyttet ved Udledelsen af (3) og (5) er $\frac{1}{2} \sigma_b \cdot x \cdot b = \sigma_i \cdot F_i$.

$$M = F_i \cdot \sigma_i \cdot h_t.$$

Idet vi regner med Pladebredden 1 m, er $b = 100$ cm, og man faar ved Division:

$$\frac{M}{50 \sigma_b \cdot x} = h_t = h_n \div \frac{x}{3}.$$

$$M = 50 \sigma_b \cdot x \cdot h_n \div \frac{50}{3} \sigma_b \cdot x^2$$

ved Indsættelse af Værdien for x efter (6) faas

$$\frac{M}{\sigma_b} = 50 \cdot \frac{n}{n+m} h_n^2 \div \frac{50}{3} \left(\frac{n}{n+m} \right)^2 h_n^2.$$

$$\frac{M}{\sigma_b} = 100 h_n^2 \left(\frac{n}{2(n+m)} \div \frac{1}{6} \left(\frac{n}{n+m} \right)^2 \right)$$

$$\frac{M}{\sigma_b} = 100 h_n^2 \left(\frac{n}{n+m} \right)^2 \left(\frac{n+m}{2n} \div \frac{1}{6} \right)$$

$$h_n^2 = \frac{1}{100} \left(\frac{m+n}{n} \right)^2 \frac{6n}{3m+2n} \cdot \frac{M}{\sigma_b}$$

$$h_n = \frac{1}{10} \cdot \frac{m+n}{n} \sqrt{\frac{6n}{3m+2n}} \sqrt{\frac{M}{\sigma_b}}$$

$$h_n = C \sqrt{\frac{M}{\sigma_b}} \quad (7).$$

Heri er Størrelsen $C = \frac{1}{10} \cdot \frac{m+n}{n} \sqrt{\frac{6n}{3m+2n}}$ konstant, naar der er givet, hvilke Paavirkninger hhv. Jernet og Betonen maa udsættes for.

For at finde, hvor stort Jernindlæg man skal anvende i Pladebredden 1 m have

$$F_i \cdot \sigma_i = \frac{1}{2} \cdot \sigma_b \cdot x \cdot b,$$

som idet $b = 100$ bliver til

$$F_i \cdot \sigma_i = 50 \cdot \sigma_b \cdot x.$$

Ved Indsættelse af Værdien for x efter (6) faas

$$F_i = \frac{50}{m} \cdot \frac{n}{m+n} h_n$$

$$F_i = K h_n \quad (8).$$

Man kan nu danne sig en Tabel, som angiver Værdierne af C og K, for forskellige Værdier af m, idet n (ifølge Normerne) sættes til 15. Der hidsættes her en Tabel, som enhver, om fornødent, kan supplere.

$$n = 15.$$

m =	20	25	30	35	40	50	
C =	0,233	0,247	0,260	0,272	0,284	0,306	
K =	1,07	0,75	0,556	0,43	0,341	0,231	

Eks. 2. Et Rum med 2,5 m Lysvidde skal overdækkes med en Jernbetonplade. Belastningen er 250 kg/m² foruden Egenvægten. 2 cm Slidlag. Bestem Dimension og Armering, naar $\sigma_b = 40$; $\sigma_i = 1000$.

Pladen skønnes at blive 10 cm tyk.

Belastningen bliver da:

$$\begin{array}{rcl} \text{Egenvægt} & 0,1 \cdot 2400 & = 240 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Slidlag} & 0,02 \cdot 2400 & = 40 \text{ —} \\ \text{Nyttelast} & & = 250 \text{ —} \\ & & \hline & & 538 \text{ —} \end{array}$$

$$M = \frac{1}{8} \cdot 538 \cdot 2,5^2 = 421 \text{ kgm} = 42100 \text{ kgcm pr. m Bredde.}$$

$$\text{Man har nu } m = \frac{1000}{40} = 25.$$

Ifølge Tabellen er C = 0,247; K = 0,75

$$h_n = 0,247 \sqrt{\frac{42100}{40}} = 0,247 \cdot 32,5 = 8 \text{ cm,}$$

$$F_i = 0,75 \cdot 8 = 6 \text{ cm}^2.$$

Idet der skal være 1 cm Beton under Jernene kan Pladetykkelsen gøres 9,5 cm.

Af Rundjernstabellen ses 8 Ø 10 mm at svare til 6,28 cm² og er altsaa rigeligt som Armering i hver m af Pladens Bredde.

Saafremt man ved Formel (7) kommer til en mindre Pladetykkelse, end den man af en eller anden Grund ønsker, kan man simpelthen formindske Jernindlægget proportionalt.

Eks. 3. Der ønskes bestemt Dimension og Jernindlæg i en Plade med Spændvidde 1,75 m. Belastningen er 250 kg/m² foruden Egenvægten. Pladen skal belægges med Terrazzo (Vægt 44 kg/m²). Pladetykkelsen maa ikke være under 8 cm.

Tilladelige Paavirkninger $\sigma_i = 1000$; $\sigma_b = 40$.

Belastning:

Egenvægt	0,08 . 2400	=	192 kg/m ²
Terrazzo		=	44 —
Nyttelast		=	250 —
			486 —

$$M = \frac{1}{8} \cdot 486 \cdot 1,75^2 = 186 \text{ kgm} = 18600 \text{ kgm pr. m Bredde.}$$

$$h_n = 0,247 \sqrt{\frac{18600}{40}} = 5,34 \text{ cm}$$

$$F_i = 0,75 \cdot 5,34 = 4 \text{ cm}^2.$$

Statisk set kan man nøjes med en Nyttehøjde af 5,34 cm. Men da der er forlangt en Pladetykkelse paa 8 cm har vi en Nyttehøjde af 6,5 cm. Vi kan altsaa formindske Jernindlægget, som er beregnet til 4 cm². Kaldes det ny Jernindlæg x faas:

$$\frac{x}{4} = \frac{5,34}{6,5}; \quad x = \frac{4 \cdot 5,34}{6,5} = 3,28 \text{ cm}^2.$$

Der kan anvendes 9 Ø 7 mm pr. m, hvilket er lidt rigeligt. Ved nu at undersøge Pladen ved Hjælp af Formlerne (3), (4) og (5) vil man finde, at Jernspændingen er ca. 1000 kg/cm², medens Betonspændingen, paa Grund af, at Pladen er gjort tykkere end Formel (7) gav, er bleven en Del mindre end 40 kg/cm².

Saafrømt Pladen er indspændt ved Understøtningerne, maa der her fremkomme et negativt Moment (Trækspændinger i Oversiden og Trykspændinger i Undersiden af Pladen). Samtidig formindskes Momentet i Midten af Pladen. En fuldstændig Indspænding er næsten uopnaaelig, og Normerne foreskriver derfor, at man ikke maa regne nogensomhelst Indspænding, naar Pladen hviler paa Mur, men kun hvor den er sammenstøbt med Bjælker (se Normerne). Man plejer ikke at beregne det negative Moment, men nøjes med at bøje Halvdelen eller $\frac{2}{3}$ af Jernene op i Oversiden. Ophøjningen foretages da i en Afstand af ca. $\frac{1}{5}$ af Spændvidden fra Understøtningerne, som vist paa Fig. 5.

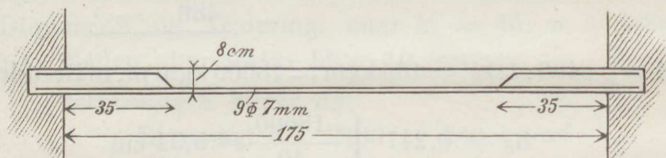


Fig. 5.

Skønt man ikke regner med Indspænding ved Oplejring paa Mur, er det dog tilraadeligt ogsaa i dette Tilfælde at bøje en Del af Jernene op.

De vandrette Forskydninger.

Beregningen af de vandrette Forskydningsspændinger udfører man ved at tænke sig lagt 2 Snit i den betragtede Plade (eller Bjælke). Snittene lægges i en Afstand fra den ene Understøtning af u og $u + \Delta u$, hvor Δu betyder et overordentlig lille Tal. (Saa lille, at dets Kvadrat kan regnes lig Nul, uden at begaa nogen Fejl af Betydning).

Man tænker sig nu Bjælkedelene til venstre for Snittet u og til højre for Snittet $u + \Delta u$ fjærnet.

Anbringer man i Snittene de tidligere indre Kræfter (Spændinger) som ydre Kræfter, vil Bjælkestykket være i Ligevægt lige som før.

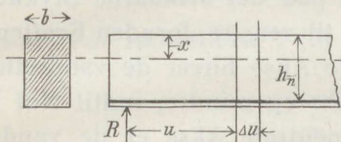


Fig. 6.

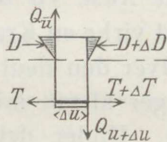


Fig. 7.



Fig. 8.

Paa Snittet u virker af Normalkræfter: Trykkraften D (fordelt efter en Trekant paa Stykket fra Overkanten til den neutrale Akse; Resultanten altsaa i Afstanden $\frac{x}{3}$ fra Overkanten), og Trækkraften T (virkende i Jernet). Paa Snittet $u + \Delta u$ virker Normalkræfterne $D + \Delta D$ og $T + \Delta T$. (Idet Normalkræfterne vokser sammen med Bøjningsmomentet). Desuden virker i Snittene u og $u + \Delta u$ hhv. de lodrette Forskydninger Q_u og $Q_{u+\Delta u}$. Af disse er Q_u saa meget større end $Q_{u+\Delta u}$, som den Belastning der findes paa Stykket Δu . (Fig. 7). Man har nu:

$$\left. \begin{aligned} D &= T. \\ D + \Delta D &= T + \Delta T. \end{aligned} \right\} \text{(1ste Ligevægtsligning).}$$

Tænker man sig nu et vandret Snit i Bjælkestykket, lagt mellem Jernet og den neutrale Akse, vil det Stykke, som ligger under dette Snit være paavirket til Forskydning til højre med en Kraft ΔT . Til at optage denne Forskydning findes et Areal af Størrelse $b \Delta u$.

Den vandrette Snitflade vil altsaa pr. cm^2 være paavirket af:

$$\tau_b = \frac{\Delta T}{b \cdot \Delta u} \quad (9).$$

Man ser, at denne Kraft er den samme, hvor man end lægger Snittet mellem Jernet og den neutrale Akse. Lægger man derimod Snittet højere end den neutrale Akse vil der paa det afskaarne Stykke komme til at virke en Kraft til venstre, foruden Kraften til højre. Over den neutrale Akse bliver de vandrette Forskydninger altsaa mindre og mindre, indtil Nul i Overkanten. Under den neutrale Akse er de vandrette Forskydninger derimod konstante helt ned til Jernet. (Grafisk fremstillet paa Fig. 8).

For nu at finde de vandrette Forskydninger udtrykt ved et Tal maa man indsætte Værdien for ΔT i Ligning (9). 3die Ligevægtsligning giver:

$$T = \frac{M_u}{h_t}$$

$$T + \Delta T = \frac{M_u + \Delta u}{h_t},$$

hvoraf

$$\Delta T = \frac{M_u + \Delta u \div M_u}{h_t}$$

$$\text{Men } M_u = R \cdot u \div \frac{p \cdot u^2}{2}$$

$$M_u + \Delta u = R (u + \Delta u) \div \frac{p (u + \Delta u)^2}{2}$$

$$M_u + \Delta u \div M_u = R \cdot \Delta u \div \frac{p}{2} ((u + \Delta u)^2 \div u^2)$$

$$M_u + \Delta u \div M_u = R \cdot \Delta u \div \frac{p}{2} (2 u \cdot \Delta u \div \Delta u^2).$$

Idet Δu nu er saa lille, at vi kunne regne Δu^2 lig Nul have

$$M_u + \Delta u \div M_u = R \cdot \Delta u \div p \cdot u \cdot \Delta u = \Delta u (R \div pu).$$

Men $R \div pu$ er netop lig den lodrette Forskydning i Snittet u altsaa lig Q_u .

Altsaa $M_u + \Delta u \div M_u = Q_u \cdot \Delta u$, hvoraf

$$\Delta T = \frac{Q_u \cdot \Delta u}{h_t}$$

som ved Indsættelse i (9) giver

$$\tau_b = \frac{Q_u \cdot \Delta u}{h_t \cdot b \cdot \Delta u}$$

$$\tau_b = \frac{Q_u}{h_t \cdot b} \quad (10).$$

De lodrette Forskydninger.

Det kan bevises, at den lodrette Forskydnings-spænding i et hvilket som helst Punkt er lige saa stor som den vandrette. Det vil altsaa sige, at Forskydningen ikke fordeler sig jævnt over hele Tværsnittet, men kun fra Jernene til den neutrale Akse. Derfra og til Overkant af Pladen vil Forskydningen blive mindre og mindre. Den største lodrette Forskydningsspænding bliver lig den største vandrette, som findes af Formel (10).

Adhæsionsspændingen mellem Jern og Beton.

Kraften ΔT i Fig. 7 virker direkte paa Jernet og bliver derfra overført til Betonen. Kraften vil altsaa søge at trække Jernet ud af Betonen. Idet Jernets Omkreds kaldes O vil der altsaa opstaa en Adhæsionsspænding

$$\tau_{bi} = \frac{\Delta T}{O \cdot \Delta u}$$

Indsættes heri Værdien for ΔT , faas

$$\tau_{bi} = \frac{Q_u \cdot \Delta u}{h_t \cdot O \cdot \Delta u}$$

$$\tau_{bi} = \frac{Q_u}{h_t \cdot O} \quad (11).$$

Eks. 4. Find største Forskydnings- og Adhæsionsspænding for den i Eks. 1 behandlede Plade.

Begge Spændinger er største ved Understøtningerne.

$$Q = \frac{1}{2} \cdot 515 \cdot 2,4 = 618 \text{ kg}$$

$$\tau_b = \frac{618}{7,48 \cdot 100} = 0,83 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{bi} = \frac{618}{7,48 \cdot 25,45} = 3,25 \text{ kg/cm}^2$$

Som man ser er Forskydningsspændingen langt paa den sikre Side, hvilket næsten altid vil være Tilfældet for Pladers Vedkommende. Som vi senere vil se er dette langt fra altid Tilfældet for Bjælkens Vedkommende.

Krydsarmering.

En rektangulær Plade som er understøttet paa alle 4 Sider armeres ret ofte i 2 paa hinanden vinkelrette Retninger, altsaa saaledes at det ene Sæt Bærejern danner Fordelingsjern for det andet Sæt. Kaldes Sidelængderne a og b ($a \geq b$) have Momentet

$$\left. \begin{array}{l} \text{for Spændvidden } b, M_b = \frac{1}{6} q b^2 \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2\right)^2} \\ \text{for Spændvidden } a, M_a = \frac{1}{6} q a^2 \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{a}{b}\right)^2\right)^2} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{for } a = b \\ M_a = M_b = \frac{1}{24} q b^2 \end{array}$$

Eks. 5. Et rektangulært Rum af Størrelse $2,8 \text{ m} \times 3,1 \text{ m}$ skal overdækkes med en Plade, hvis Tykkelse mindst skal være 10 cm. Pladen skal belægges med Asfalt (Vægt 40 kg/m^2). Tilf. Belastning 500 kg/m^2 .

Største tilladelige Spændinger $s_b = 40$; $s_i = 1000$.

Belastning:

Egenvægt	$0,1 \cdot 2400 = 240 \text{ kg/m}^2$
Asfalt	40 —
Tilf. Belastning	500 —
	780 —

Momentet for Spændvidde 2,8 m kaldes M_1 pr. m Bredde.

— — — 3,1 m — M_2 — —

$$M_1 = \frac{1}{6} \cdot 780 \cdot 2,8^2 \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{2,8}{3,1}\right)^2\right)^2} =$$

$$\frac{780 \cdot 2,8^2}{6 \cdot 1,82^2} = 308 \text{ kgm}$$

$$M_2 = \frac{1}{6} \cdot 780 \cdot 3,1^2 \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{3,1}{2,8}\right)^2\right)^2} =$$

$$\frac{780 \cdot 3,1^2}{6 \cdot 2,1^2} = 283 \text{ kgm}$$

Som det ses er Momentet størst i Retning af den mindste Spændvidde, og i den Retning lægges Jernene underst.

I Retning M_1 er $h_n = 8,5 \text{ cm}$.

— — M_2 — $h_n = 7,5$ —

1) $M_1 = 30800 \text{ kgcm}$.

$$h_n = 0,247 \sqrt{\frac{30800}{40}} = 6,85 \text{ cm}$$

$$F_i = 0,75 \cdot 6,85 = 5,13 \text{ cm}^2.$$

Idet vi har en disponibel Nyttelhøjde af 8,5 cm, kan vi nøjes med mindre Jern, nemlig

$$F_i = \frac{5,13 \cdot 6,85}{8,5} = 4,14 \text{ cm}^2.$$

11 Ø 7 mm har Tværsnit 4,23 cm².

$$2) M_2 = 28300 \text{ kgcm.}$$

$$h_n = 0,247 \sqrt{\frac{28300}{40}} = 6,56 \text{ cm}$$

$$F_i = 0,75 \cdot 6,56 = 4,93 \text{ cm}^2.$$

Idet vi har en disponibel Nyttelhøjde af 7,5 cm, kan vi nøjes med mindre Jern, nemlig

$$F_i = \frac{4,93 \cdot 6,56}{7,5} = 4,32 \text{ cm}^2.$$

Vi lægge ogsaa der 11 Ø 7 mm pr. m. Deres Tværsnit er ganske vist kun 4,23, men i Virkeligheden er Nyttelhøjden ogsaa lidt større end antaget.

Dobbelt Armering.

Undertiden har det Betydning at kunne indskrænke Konstruktionshøjden det mest mulige. Dette kan opnaas ved at anvende stor tilladelig Paavirkning for Beton og forholdsvis lille tilladelig Paavirkning for Jern (jvf. Dimensioneringstabellen S. 18). Denne Maade at indskrænke Højden paa er dog ret kostbar, og ofte kan det betale sig at lægge Jern i den trykkede Side i Stedet for.

Har man givet et Tværsnit, og vil undersøge, om det er tilstrækkeligt stærkt til at optage et givet Bøjningsmoment, kan man udlede Formler analoge med (3), (4) og (5).

Udviklingen skal her forbigaaes og Formlerne hidsættes. Idet følgende betyder:
h Pladetykkelse eller Bjælkehøjde i cm.

x Afstand fra den trykkede Kant til den neutrale Akse i cm.

a Afstand fra den strakte Kant til det strakte Jerns Tyngdepunkt i cm.

$h \div a = h_n$.

a^c Afstand fra den trykkede Kant til det trykkede Jerns Tyngdepunkt i cm.

F_i og F_i^c hhv. det strakte og det trykkede Jerns Tvær-snittsareal.

σ_i og σ_i^c Paavirkninger i hhv. det strakte og det trykkede Jern i kg/cm^2 ,

σ_b Betonpaavirkning i kg/cm^2 .

Til Bestemmelse af den neutrale Akses Beliggenhed haves

$$x = \div \frac{n (F_i + F_i^c)}{b} + \sqrt{\left(\frac{n (F_i + F_i^c)}{b} \right)^2 + \frac{2n}{b} (F_i^c \cdot a^c + F_i h_n)} \quad (12).$$

hvorefter Paavirkningerne findes af

$$\sigma_b = \frac{M}{\frac{b \cdot x}{2} \left(h_n \div \frac{x}{3} \right) + n \cdot F_i^c \frac{x \div a^c}{x} (h_n \div a^c)} \quad (13).$$

$$\sigma_i = \frac{\sigma_b \cdot n (h_n \div x)}{x} \quad (14).$$

$$\sigma_i^c = \frac{\sigma_b \cdot n (x \div a^c)}{x} \quad (15).$$

For at finde Forskydnings- og Adhæsionsspændingen kan benyttes Formlerne (10) og (11). De er ikke ganske korrekte, men altid paa den sikre Side.

Eks. 6. En Murbjælke af 47 cm Bredde har Spændvidde 3,34 m. Den er belastet med 2895 kg/m. Dens Højde maa ikke overstige 35 cm. Hvilken Armering behøves, naar de tilladelige Paavirkninger er $\sigma_b = 40$; $\sigma_i = 1000$?

$$M = \frac{1}{8} \cdot 2895 \cdot 3,34^2 = 4040 \text{ kgm.}$$

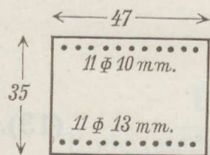
$$Q = \frac{1}{2} \cdot 2895 \cdot 3,34 = 4830 \text{ kg.}$$

Momentet 4040 kgm pr. 47 cm Bredde svarer til $\frac{4040}{0,47} = 8600 \text{ kgm pr. m Bredde.}$

Hvis Bjælken skulde være enkelt armeret fordredes Nyttehøjden

$$h_n = 0,247 \sqrt{\frac{860000}{40}} = 35,3 \text{ cm.}$$

Altsaa Totalhøjden ca. 38 cm og Jernindlægget: $F_i = 0,75 \cdot 35,2 \cdot 0,47 = 12,8 \text{ cm}^2$, hvortil paa det nærmeste svarer 10 Ø 13 mm, som har Tværsnittet $13,27 \text{ cm}^2$.



Vi forsøger da hosstaaende Tværsnit, hvor

Fig. 9.

$$b = 47; h = 35; a = a^c = 3; F_i = 14,6; F_i^c = 8,64.$$

$$x = \div \frac{15 \cdot 23,24}{47} +$$

$$\sqrt{\left(\frac{15 \cdot 23,24}{47}\right)^2 + \frac{2 \cdot 15}{47} (8,64 \cdot 3 + 14,6 \cdot 32)}$$

$$x = \div 7,4 \div \sqrt{55 + 0,64 \cdot 492,9} =$$

$$\div 7,4 + \sqrt{370} = \div 7,4 + 19,25$$

$$x = 11,85 \text{ cm}$$

$$h_n \div \frac{x}{3} = 28,04; x \div a^c = 8,85; h_n \div a^c = 29$$

$$h_n \div x = 20,15.$$

$$\sigma_b = \frac{404000}{\frac{47 \cdot 11,85}{2} \cdot 28,04 + 15 \cdot 8,64 \cdot \frac{8,85}{11,85} \cdot 29}$$

$$\sigma_b = \frac{404000}{7820 + 2810} = \frac{404000}{10630} = 38 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_i = \frac{38 \cdot 15 \cdot 20,15}{11,85} = 970 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_i^c = \frac{38 \cdot 15 \cdot 8,85}{11,85} = 425 \text{ kg/cm}^2$$

$$r_b = \frac{4830}{28,04 \cdot 47} = 3,66 \text{ kg/cm}^2$$

$$r_{bi} = \frac{4830}{28,04 \cdot 44,93} = 3,84 \text{ kg/cm}^2.$$

Denne Armering opfylder altsaa de stillede For-
dringer.

Idet Jernene i Oversiden bliver trykkede vil de faa Tilbøjelighed til Udbøjning til Siden, og der kunde være Fare for, at de vilde sprænge den Betón, der ligger over dem. De skal ifølge Normerne sikres mod Udbøjning i Pukter, der ligger i 15 cm Afstand. Dette udfører man ved at lægge Bøjler omkring Jernene i disse Punkter og lade disse Bøjler ogsaa gaa omkring Jernene i Undersiden af Bjælken.

Tænker vi os, at Bjælken skal ligge 46 cm paa Mur, og sammenligner vi de 2 Bjælker, ser vi, at der til den sidste gaar

$$0,47 \cdot 0,03 \cdot 3,8 = 0,054 \text{ m}^3 \text{ mindre Beton, men}$$

$$3,8 \text{ m } 13 \text{ mm } \emptyset \text{ Jern} = 3,8 \cdot 1,042 = 4 \text{ kg}$$

$$11 \cdot 3,8 - 10 \quad \text{—} \quad = 41,7 \cdot 0,617 = 26 \text{ -}$$

$$23 \cdot 11 \cdot 0,9 - 5 \quad \text{—} \quad = 228 \cdot 0,154 = 35 \text{ - (Bøjler).}$$

Ialt 65 kg

mere Jern. Regne vi 1 m³ Beton til 25 Kr. 1 kg Jern til 17 Øre faas

$$\begin{array}{r} 65 \text{ kg Jern à } 0,17 = 11,05 \\ \div 0,054 \text{ m}^3 \text{ Beton à } 25,00 = 1,35 \\ \hline \text{Kr. } 9,70 \end{array}$$

Den dobbelt armerede Bjælke bliver altsaa ca. 10 Kr. dyrere end den enkelt armerede. Som man ser, kan det blive ret kostbare Højder, der købes paa denne Maade.

Bjælker og Dragere.

Saa længe Spændvidden ikke er mere end 2 à 3 m vil det være økonomisk at konstruere Etageadskillelsen som Plade. Men bliver Spændvidden større vil det betale sig at anvende Bjælker, og lægge Jernbetonplader fra Bjælke til Bjælke. Som Bjælker kan man da anvende almindelige valsede Jernprofiler. Disse beregnes da paa sædvanlig Maade.

Men man kan ogsaa støbe Bjælkerne af Beton og et Tværsnit i Konstruktionen vil da faa Udseende som Fig. 10.

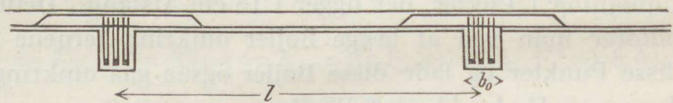


Fig. 10.

Belaster man en saadan Konstruktion vil den faa en vis Nedbøjning, og Pladen, som er sammenstøbt med Bjælken maa bøje sig med, saaledes at ikke alene den Del af Bjælken, der ligger over den neutrale Akse vil blive sammentrykket, men derimod hele Pladen. Denne er altsaa at betragte som Trykflange for Bjælken, og vi have da en Bjælke med T-formet Tværsnit. Denne Bjælkes Bredde regnes fra Fag-

midte til Fagmidte, altsaa er i Tilfældet Fig. 10 Bjælkebredden lig 1. Dog bestemmer Normerne, at der til Bjælkebredden ikke maa regnes mere end $\frac{1}{6}$ af Bjælkens Spændvidde til hver Side. Den største Bjælkebredder man kan faa er altsaa lig $\frac{1}{3}$ af Bjælkens Spændvidde. Har man f. Eks. en Etageadskillelse, hvor Spændvidden er 6 m og Afstanden mellem Bjælkerne $l = 2,5$ m, da maa Bjælkebredden ikke regnes til 2,5 m, men derimod kun til $\frac{6}{3} = 2$ m. Er Bjælkeafstanden derimod kun 1,5 m maa Bjælkebredden selvfølgelig ikke regnes til $\frac{6}{3} = 2$ m, men kun til 1,5 m. Ribbens Bredde b_0 maa gøres saa stor, at der bliver Plads til Jernene, men de behøver ikke absolut at ligge i eet Lag. Meget ofte lægges de i 2, sjældnere i 3 Lag. Ribbebredden b_0 faar en stærk Paavirkning til Forskydning og i de fleste Tilfælde vil denne Paavirkning overskride den tilladelige Værdi, hvorfor man maa armere derfor med de saakaldte Bøjler og med Opadbøjning af Strækjernene henimod Understøtningerne.

Ved Beregningen er der 2 væsentlige Tilfælde at skelne mellem:

- 1) Den neutrale Akse falder i Pladen,
- 2) » — » — under Pladen.

Tilfælde 1. Da man paa Forhaand ikke kan have nogen Mening om, hvorvidt den neutrale Akse falder i eller under Pladen gør man almindeligvis den Forudsætning, at den falder i Pladen. Viser dette sig at være forkert, anvender man dernæst Formlerne under Tilfælde 2.

Da vi ved Pladeberegning ikke tage noget Hensyn til den Beton der ligger under den neutrale Akse (i den strakte Del), gælder de samme Formler her; dog at man i Formlen for Forskydningsspændingerne (10) i Stedet for b maa sætte b_0 . (Bemærk: h betyder her Bjælkehøjde incl. Plade).

Tilfælde 2. Saafremt den neutrale Akse falder i Ribben, ser man bort fra de smaa Trykspændinger, der optræder i Ribben.

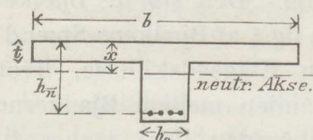


Fig. 11.

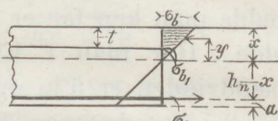


Fig. 12.

Trykspændingerne vil altsaa her optræde, ikke som ved Plader efter en Trekant, men efter et Trapez. Største Trykspænding kaldes σ_b , mindste σ_{b1} . Hele Trykspændingen vil altsaa faa en Størrelse

$\frac{\sigma_b + \sigma_{b1}}{2} \cdot b \cdot t$, og da Summen af Trykspændingerne maa være lig Summen af Trækspændingerne:

$$\frac{\sigma_b + \sigma_{b1}}{2} \cdot b \cdot t = \sigma_i \cdot F_i \quad (16).$$

Her er (se Fig. 12)

$$\sigma_{b1} = \frac{x \div t}{x} \sigma_b \quad (17).$$

Paa lignende Maade som ved Udledelsen af Formel (2) faas:

$$\sigma_i = n \frac{h_n \div x}{x} \cdot \sigma_b \quad (18).$$

Indsætter man Værdierne for σ_{b1} og σ_i fra (17) og (18) i (16) faas

$$x = \frac{\frac{bt^2}{2} + nF_i h_n}{bt + nF_i} \quad (19).$$

Afstanden fra Overkant af Bjælken til Trykspændingernes Resultant er (se Fig. 12)

$$x \div y = \frac{t}{3} \frac{\sigma_b + 2 \sigma_{b1}}{\sigma_b + \sigma_{b1}}$$

Indsætter man heri σ_{b1} 's Værdi fra (17) faas

$$y = x \div \frac{t}{2} + \frac{t^2}{6 (2x \div t)} \quad (20).$$

Man har nu ifølge 3die Ligevægtsligning:

$M = \sigma_i \cdot F_i (h_n \div x + y)$, eller idet Afstanden mellem Træk- og Trykcentret $h_n \div x + y = h_t$:

$$\sigma_i = \frac{M}{F_i \cdot h_t} \quad (21).$$

og ifølge (18)

$$\sigma_b = \frac{x}{n (h_n \div x)} \cdot \sigma_i \quad (22).$$

Forskydnings- og Adhæsionsspændingen faas af (10) og (11), idet man i (10) erstatter b med b_o , altsaa

$$\tau_b = \frac{Q_u}{h_t \cdot b_o} \quad (23).$$

$$\tau_{bi} = \frac{Q_u}{h_t \cdot O} \quad (24).$$

Saafermt det ved (24) viser sig, at τ_{bi} bliver større end tilladeligt, kan man rette derpaa ved at bruge flere Jern med mindre Diameter.

Eks. 7. En Bjælke med Tværsnit som Fig. 13 har Spændvidde 6 m og er belastet med 1000 kg/m. Find Spændingerne.

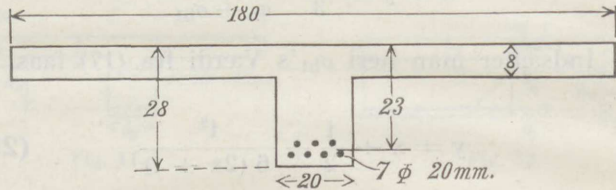


Fig. 13.

$$M = \frac{1}{8} \cdot 1000 \cdot 6^2 = 4500 \text{ kgm.}$$

$$Q = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 6 = 3000 \text{ kg.}$$

$$b = 180; t = 8; h_n = 23; F_i = 21,99 \text{ (7 } \varnothing 20 \text{ mm).}$$

$$x = \frac{15 \cdot 21,99}{180} \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot 180 \cdot 23}{15 \cdot 21,99}} \div 1 \right)$$

$$x = 1,83 \cdot 4,1 = 7,5 \text{ cm.}$$

Den neutrale Akse falder i Pladen, da $x < t$.

$$h_t = 20,5.$$

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot 450000}{180 \cdot 7,5 \cdot 20,5} = 32,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_i = \frac{450000}{20,5 \cdot 21,99} = 998 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b = \frac{3000}{20,5 \cdot 20} = 7,33 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{bi} = \frac{3000}{20,5 \cdot 43,98} = 3,33 \text{ kg/cm}^2$$

Tryk-, Træk- og Adhæsionsspændingerne er altsaa indenfor de tilladeliges Grænser, medens Forskydnings-spændingen er for stor. Der maa altsaa indlægges Bøjler, hvorom senere.

Eks. 8. En Bjælke med Tværsnit som Fig. 14 har Spændvidde 6,9 m og er belastet med 1000 kg/m. Find Spændingerne.

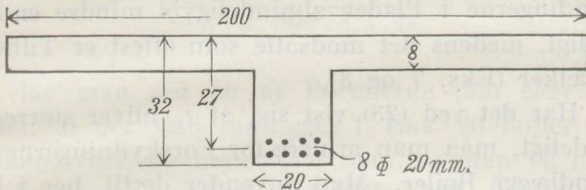


Fig. 14.

$$M = \frac{1}{8} \cdot 1000 \cdot 6,9^2 = 5860 \text{ kgm.}$$

$$Q = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 6,9 = 3450 \text{ kg.}$$

$$b = 200; t = 8; h_n = 27; F_i = 25,13 \text{ (8 } \varnothing 20 \text{ mm).}$$

Ved Prøve med Formel (3) har man fundet, at den neutrale Akse ligger under Pladen.

$$x = \frac{\frac{200 \cdot 8^2}{2} + 15 \cdot 25,13 \cdot 27}{200 \cdot 8 + 15 \cdot 25,13} = 8,4.$$

$$y = 8,4 \div \frac{8}{2} + \frac{8^2}{6(2 \cdot 8,4 \div 8)} = 5,61.$$

$$h_n \div x = 18,6; h_t = 24,21.$$

$$\sigma_i = \frac{586000}{25,13 \cdot 24,21} = 963 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\sigma_b = \frac{8,4 \cdot 963}{15 \cdot 18,6} = 29 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\tau_b = \frac{3450}{24,21 \cdot 20} = 7,13 \text{ kg/cm}^2;$$

$$\tau_{bi} = \frac{3450}{24,21 \cdot 50,27} = 2,83 \text{ kg/cm}^2.$$

Som i Eks. 7 er ogsaa her Forskydningsspændingerne større end tilladeligt.

Forskydningsspændinger i T-formede Bjælker.

Som vi have set i Eks. 4 og 6 er Forskydnings-spændingerne i Plader almindeligvis mindre end tilladeligt, medens det modsatte som oftest er Tilfældet i Bjælker (Eks. 7 og 8).

Har det ved (23) vist sig, at τ_b bliver større end tilladeligt, maa man armere for Forskydningerne ved at indlægge Bøjler. Man anvender dertil, her i Landet, næsten altid Baandjern; i Tyskland anvendes næsten altid Rundjern. Saafremt Belastningen er jævnt fordelt ved vi, at Forskydningen i Bjælkemidten er 0. Ved Understøtningen er Forskydningen τ_b kg/cm² (funden af (23)), altsaa pr. løbende cm af Bjælken paa dette Sted $\tau_b \cdot b_0$ eller $\frac{Q_u}{h_t}$.

Hele Forskydningen i en Bjælkehalvdel er da, idet l betyder Bjælkens Spændvidde:

$$F = \frac{Q_u \cdot l}{h_t \cdot 2 \cdot 2} = \frac{Q_u \cdot l}{4 h_t}.$$

Til at optage denne Forskydning behøves, idet Jernets tilladelige Paavirkning til Forskydning er 800 kg/cm², et Jernareal

$$A = \frac{F}{800} = \frac{Q_u \cdot l}{4 \cdot 800 \cdot h_t}.$$

Anvendes Bøjler af 2 mm $\times$ 30 mm Baandjern, vil hver Bøjle have Tværsnitsareal 1,2 cm², og der behøves da et Antal Bøjler bestemt ved

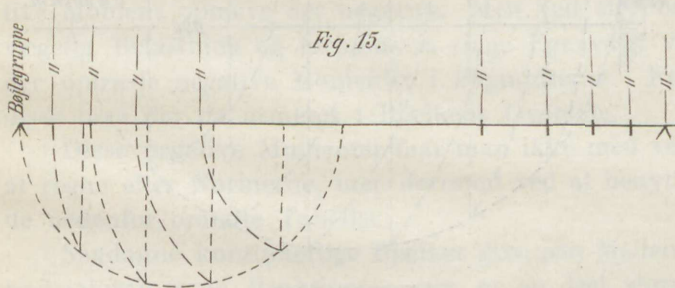
$$B = \frac{A}{1,2} = \frac{Q_u \cdot l}{4 \cdot 800 \cdot 1,2 h_t} \quad (25).$$

Saafremt Bjælken ikke var paavirket jævnt fordelt, men af en Enkeltkraft 2 P i Midten, vilde For-

skydningerne ikke formindskes fra Understøtningen til Midten og Bøjleantallet vilde da blive:

$$B = \frac{P \cdot l}{2 \cdot 800 \cdot 1,2 \cdot h_t} \quad (26).$$

Har man ved en af Formlerne (25) eller (26) fundet, at der skal indlægges f. Eks. 20 Bøjler i en Bjælkehalvdel, da bestemmer man, at man vil lægge dem i Grupper paa f. Eks. 4 Bøjler, altsaa 5 Grupper. I sidste Tilfælde (med Enkeltkraft i Midten) skal Grupperne da ligge med lige stor indbyrdes Afstand, og man deler Bjælkehalvdelen i 5 lige store Stykker. I hvert Delingspunkt lægges en Bøjlegruppe. Er Belastningen derimod jævnt fordelt, da er det klart, at Bøjlegrupperne maa ligge tættest ved Understøtningerne. Bøjlegruppernes Plads kan da bestemmes ved følgende Konstruktion: Man tegner en Halvcirkel over Bjælkehalvdelen, som først er inddelt i 5 lige store Dele. (Var Gruppeantallet n , da i n lige store Dele). I Delingspunkterne oprejses Vinkelrette, og disses Skæringspunkter med Halvcirklen føres ned paa Bjælken med Bjælkemidten som Centrum (Fig. 15).



Ved at bøje en Del af Trækjernene op i Oversiden henne ved Understøtningerne vil disse skraat bøjede (under 45°) Jern kunne optage en væsentlig Del af Forskydningerne, saaledes at man vilde kunne

spare nogle Bøjler. Men da Forskydningerne i Virkeligheden er et af de dunkleste Punkter ved Jernbetonen er det tilraadeligt at bøje f. Eks. Halvdelen af Jernene op, og desuden indlægge alle de beregnede Bøjler.

Eks. 9. Hvor mange Bøjler skal der indlægges i den i Eks. 8 omtalte Bjælke.

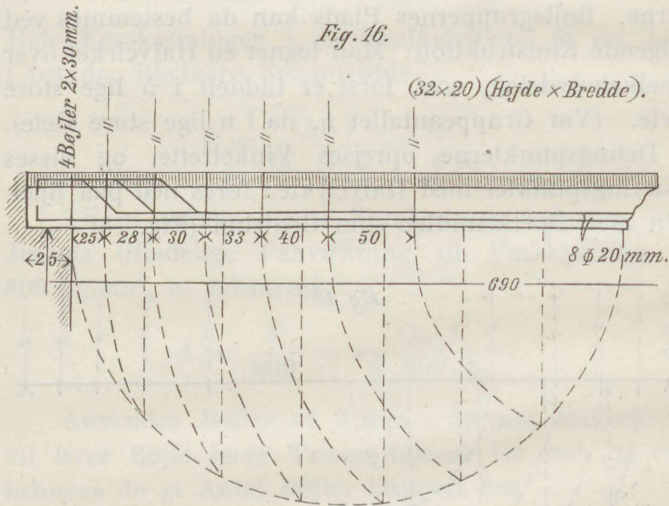
$$Q_u = 3450.$$

Formel (25) giver, idet vi anvende 2 mm $\times$ 30 mm Baandjern:

$$B = \frac{3450 \cdot 690}{4 \cdot 800 \cdot 1,2 \cdot 24,21} = 25,6.$$

Der kan f. Eks. indlægges 7 Grupper med 4 Bøjler i hver Grupper. Vi er da paa den sikre Side.

En Tegning af Bjælken vil da se saaledes ud:



Kontinuerlige Bjælker.

Naar en Bjælke hviler paa flere end 2 Understøtninger er den statisk ubestemt og kan ikke beregnes ved Hjælp af de 3 Ligevægtsbetingelser. Der vil

opstaa negative Momenter over Mellemunderstøtningerne. Det vil sige, at der vil optræde Trækspændinger i Oversiden og Trykspændinger i Undersiden. Dette vil ofte medføre, at man bliver nødt til at anbringe Konsoller ved Mellemunderstøtningerne, for at faa tilstrækkelig Bjælkehøjde. Her har man nemlig ikke Pladebredden til at optage Momentets Tryk, men kun selve Ribbebredden (se dog Normerne).

For at beregne Momenterne i kontinuerlige Bjælker angiver Normerne en Tilnærmelsesformel, som er paa den sikre Side. Da denne Formel kun tager Sigte paa jævnt fordelt Belastning, og da der ofte forekommer kontinuerlige Dragere, belastede med Enkeltkræfter, skal angives, at de tyske Normer foreskriver, at hvis man ikke vil gennemføre en nøjagtig Beregning, kan man sætte Momentet over en Mellemunderstøtning lig Momentet i Fagmidten for en ikke kontinuerlig Bjælke af samme Spændvidde, og Momentet i Fagmidten lig $\frac{4}{5}$ deraf.

Saafermt et Fag i en kontinuerlig Bjælke er belastet og Nabofaget ubelastet, vil den bevægelige Belastning danne et negativt Moment i det ubelastede Fag. Er Egenvægten tilstrækkelig stor vil dens positive Moment ophæve det negative. Men ved stor bevægelig Belastning og forholdsvis ringe Egenvægt vil der optræde negative Momenter i Fagmidterne. For disse maa der da armeres i Bjælkens Overside.

Disse negative Momenter faar man ikke med ved at regne efter Normerne, men derimod ved at benytte de nedenfor omtalte Tabeller.

Saadanne kontinuerlige Bjælker give paa Mellemunderstøtningerne Reaktionen, som er en Del større end hvis Bjælkerne var overskaarne over Mellemunderstøtningerne. Men man er paa den sikre Side, hvis man beregner Reaktionen, som om Bjælkerne ikke var kontinuerlige, og forøger de saaledes beregnede Reaktionen med 25 %.

Bjælker og Dragere, beregnede paa denne Maade er, navnlig for Mellemfagernes Vedkommende, langt paa den sikre Side, hvilket vil sige, at de ikke er økonomiske. Saafremt man har jævnt fordelt Belastning og lige store Fag kan man finde Momenter og Forskydninger aldeles nøjagtigt af den bag i Bogen meddelte Tabel.

Saafremt Belastningen ikke er jævnt fordelt, eller saafremt Fagene har forskellige Længder bliver Forholdene mere indviklede. Man kan da f. Eks. benytte Clapeyrons Ligning.

CLAPEYRONS LIGNING.

Vi tænke os en kontinuerlig Bjælke, hvor hhv. Reaktionen, Momenter over Understøtningerne og Faglængderne betegnes

$$A_0, A_1, A_2 \dots A_{n-1}, A_n, A_{n+1} \dots$$

$$M_0, M_1, M_2 \dots M_{n-1}, M_n, A_{n+1} \dots$$

$$l_1, l_2, l_3 \dots l_n, l_{n+1} \dots$$

Vi tænke os først en jævnt fordelt Belastning, forskellig i de forskellige Fag:

$$p_1, p_2, p_3 \dots p_n, p_{n+1} \dots$$

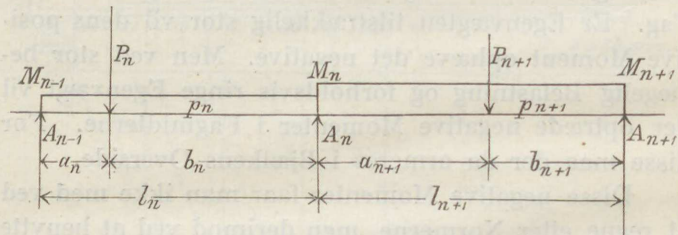


Fig. 17.

Mellem Momenterne over 3 paa hinanden følgende Understøtninger bestaar da følgende Ligning:

$$\div M_{n-1} l_n \div 2 M_n (l_n + l_{n+1}) \div M_{n+1} \cdot l_{n+1} = \frac{1}{4} p_n \cdot l_n^3 + \frac{1}{4} p_{n+1} \cdot l_{n+1}^3.$$

Er Belastningen ikke jævnt fordelt, men derimod Enkeltkræfter med Betegnelser og Beliggenhed som vist paa Fig. 17 bliver Ligningen:

$$\begin{aligned} & \div M_n + 1 \cdot l_n \div 2 M_n (l_n + l_{n+1}) \div M_n + 1 \cdot l_n + 1 = \\ & \frac{1}{l_n} \sum P_n \cdot a_n \cdot b_n (l_n + a_n) + \\ & \frac{1}{l_n + 1} \sum P_{n+1} \cdot a_{n+1} \cdot b_{n+1} (l_n + 1 + b_{n+1}). \end{aligned}$$

Ved Hjælp af disse Ligninger er man i Stand til at finde samtlige Momenter over Understøtningerne.

I et Punkt af Faget l_n , hvis Afstand fra den $(n+1)^{\text{te}}$ og n^{te} Understøtning er hhv. x og x_1 haves Momentet

$$M_x = M_{x,0} + M_n \div 1 \cdot \frac{x_1}{l_n} + M_{n+1} \cdot \frac{x}{l_n},$$

hvor $M_{x,0}$ betyder Momentet i Punktet, saafremt Faget l_n var en simpelt understøttet, ikke kontinuerlig Bjælke.

Enhver af Reaktionen kan tænkes at bestaa af 2, en fra hvert af de 2 Fag, som støde sammen over vedkommende Understøtning. Reaktionen over n^{te} Understøtning bestaar da af $A_{n,v}$ og $A_{n,h}$.

$$\begin{aligned} A_{n,v} &= \frac{p_n \cdot l_n}{2} + \frac{\sum P_n \cdot a_n}{l_n} + \frac{M_n \div 1 \div M_n}{l_n} \\ A_{n,h} &= \frac{p_{n+1} \cdot l_{n+1}}{2} + \frac{\sum P_{n+1} \cdot b_{n+1}}{l_n + 1} + \frac{M_{n+1} \div M_n}{l_n + 1}. \end{aligned}$$

$A_{n,v}$ og $A_{n,h}$ virke i en Afstand af $\frac{a}{4}$ hhv. til venstre og til højre for Søjle's Tyngdepunkt, naar Søjle's Sidelinie er a.

Naar man skal beregne en kontinuerlig Bjælke ved Hjælp af Clapeyrons Ligning, begynder man med at fordele Belastningen paa flere forskellige Maader, idet nogle af Fagene belastes, andre ikke. Det gælder da om at medtage alle de Belastningstilfælde, som give de største Momenter og Reaktionen.

For hvert enkelt Belastningstilfælde opstilles et Sæt Ligninger.

Hvert Sæt kommer til at indeholde lige saa mange Ligninger, som der er Mellemunderstøtninger. Foruden disse Ligninger har man, at Momenterne over Endeunderstøtningerne hver for sig er lig Nul.

Eks. 10. En Bjælke er kontinuerlig over 3 Fag af Længden 6 m. Bevægelig Belastning 1875 kg/m, hvilende Belastning 1200 kg/m. Find de forskellige Bøjningsmomenter.

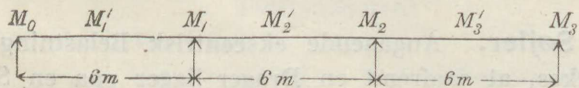


Fig. 18.

Ifølge Normerne:

$$M_0 = M_3 = 0.$$

$$M_1 = M_2 = \div \frac{1}{8} (1200 + 1875) 6^2 = \div \frac{1}{8} \cdot 3075 \cdot 36 = \\ \div 13850 \text{ kgm.}$$

$$M_1' = M_2' = M_3' = \frac{1}{10} (1200 + 1875) 6^2 = \frac{1}{10} \cdot 3075 \cdot 36 = \\ 11075 \text{ kgm.}$$

Ifølge Tabellerne:

Yderfagene (altsaa M_1' og M_3')

$$M_g = 0,08 \cdot 1200 \cdot 6^2 = + 3450 \text{ kgm}$$

$$+ M_p = 0,1 \cdot 1875 \cdot 6^2 = + 6750 \text{ —}$$

$$\div M_p = 0,02 \cdot 1875 \cdot 6^2 = \div 1350 \text{ —}$$

$$M_{\max} = \underline{10200 \text{ kgm.}}$$

I Midterfaget (altsaa M_2').

$$M_g = 0,025 \cdot 1200 \cdot 6^2 = + 1080 \text{ kgm}$$

$$+ M_p = 0,075 \cdot 1875 \cdot 6^2 = + 5063 \text{ —}$$

$$\div M_p = 0,05 \cdot 1875 \cdot 6^2 = \div 3375 \text{ —}$$

$$M_{\max} = \underline{6143 \text{ kgm}}$$

$$= \div 2295 \text{ —}$$

Over Mellemunderstøtningerne (altsaa M_1 og M_2).

$$M_g = 0,1 \cdot 1200 \cdot 6^2 = \div 4320 \text{ kgm}$$

$$\div M_p = 0,0167 \cdot 1875 \cdot 6^2 = 1125 \text{ —}$$

$$\div M_p = 0,1167 \cdot 1875 \cdot 6^2 = \div 7875 \text{ —}$$

$$M_{\max} = \div 12195 \text{ kgm.}$$

Som man ser er Normerne meget paa den sikre Side. For Midterfaget endog over 90%. Men det negative Moment der kan optræde i Midterfaget, giver Normerne slet ikke.

Søjler. Angaaende ekscentrisk Belastning bemærkes, at saafremt en Drager ligger paa en Søjle, og har lige store Fag paa begge Sider af Søjlen, da

er denne centralt belastet, naar begge Fag har fuld Belastning, ekscentrisk, naar det ene Fag er belastet, det andet ubelastet.

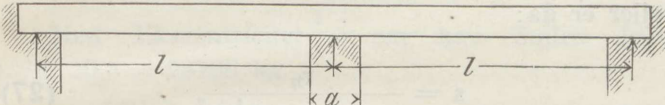


Fig. 19.

Findes der fuld Belastning i begge Fag, da er Søjlen centralt belastet med

$$P = 1,25 (p + g) \cdot l.$$

Findes der fuld Belastning i 1ste Fag, kun hvilende Belastning i 2det Fag, da er Søjlen belastet med

$$P_1 = 1,25 \cdot \frac{1}{2} (p + g) \cdot l$$

i Afstanden $\frac{a}{4}$ til venstre for Søjlen's Tyngdepunkt og med

$$P_2 = \frac{1}{2} g \cdot l$$

i Afstanden $\frac{a}{4}$ til højre for Søjlen's Tyngdepunkt.

Indsættes Talværdierne for p og g findes let Resultanten $P_1 + P_2$'s Angrebspunkts Afstand fra Søjlen's Tyngdepunkt (Ekscentriciteten).

I de følgende Formler betyder

r_b Betonens tilladelige Trykpaavirkning i almindelige Jernbetonkonstruktioner (alm. 40 kg/cm²).

l Søjlen's Højde i cm.

i Inertiradius ($i^2 = \frac{\text{Inertimoment}}{\text{Tværsnitsareal}}$)

f_o Ekscentriciteten i cm.

k Tværsnittets Kærneradius $\left(\frac{2 \cdot \text{Inertimoment}}{\text{Sidelinie} \cdot \text{Tværsnitsareal}} \right)$

Søjlerne gøres almindeligvis kvadratiske med 4 à 8 langsløbende Rundjern. Jernarealet regnes lig et Betonareal med 15 Gange saa stort Tværsnit.

Den tilladelige Søjlepaavirkning i centralt belastede Søjler er da:

$$s = \frac{r_b}{1 + 0,0001 \left(\frac{l}{i} \right)^2} \quad (27).$$

i ekscentrisk paavirkede Søjler:

$$s = \frac{r_b}{1 + \frac{f_0}{k} + 0,0001 \left(\frac{l}{i} \right)^2} \quad (28).$$

Eks. 11. En Søjle med Tværsnit som Fig. 20 har Højde 330 cm. Hvor meget kan den bære, centralt belastet, og hvor meget, naar Belastningen har Ekscentricitet 5 cm.

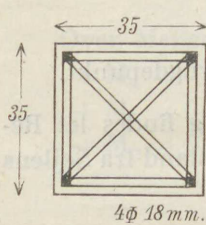


Fig. 20.

$$F = 35^2 + 15 \cdot 10,18 = 1378 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot 35^4 + 15 \cdot 10,18 \cdot 12^2 = 147000 \text{ cm}^4$$

$$i^2 = \frac{147000}{1378} = 107 \text{ cm}^2$$

$$k = \frac{2 \cdot 147000}{35 \cdot 1378} = 6,1 \text{ cm.}$$

1) central Belastning:

$$s = \frac{40}{1 + 0,0001 \frac{330^2}{107}} = \frac{40}{1,1} = 36,4.$$

Søjlen kan bære $1378 \cdot 36,4 = 50000 \text{ kg.}$

2) Ekscentrisk Belastning:

$$s = \frac{40}{1 + \frac{5}{6,1} + 0,0001 \cdot \frac{330^2}{107}} = \frac{40}{1,92} = 20,8.$$

Med Ekscentricitet 5 cm kan Søjlen bære $1378 \cdot 20,8 = 28700$ kg.

Beregning af cylindriske Beholdere.

Fig. 20 forestiller en cylindrisk Beholder med Radius r og hvis Væg, af den Vædske, der findes i Beholderen, modtager en jævnt fordelt, radialt virkende Belastning paa p kg pr. løb. m.

Tænker man sig et Snit AB lagt gennem Centrum, saa udøver Vædsken i den ene Beholderhalvdel et Tryk paa Vædsken i den anden Beholderhalvdel af Størrelse $2 r p$ kg. For at sammenholde Beholderen maa Væggen ved A og B

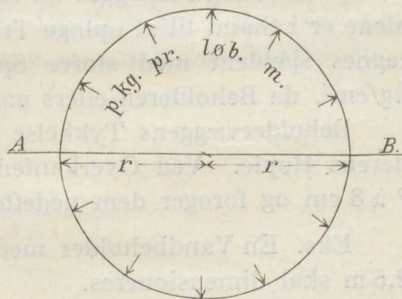


Fig. 21.

optage hver Halvdelen af Trykket, altsaa $p \cdot r$ kg. Idet man kunde have lagt Snittet AB gennem en hvilken-somhelst anden Diameter følger heraf, at der i Beholdervæggen overalt maa være en Trækspænding paa $p \cdot r$ kg.

Vandtrykket i en Dybde af h m under Overfladen er $1000 h$ kg/m.

Vi deler nu Beholderen ind i Ringe af f. Eks. 1 m Højde, og bestemmer hvor stor Trækspændingen i hver enkelt Ring er.

Den øverste Ring befinder sig i en Middeldybde af 0,5 m under Overfladen. Vandtrykket er altsaa $p = 0,5 \times 1000 = 500 \text{ kg/m}^2$ og Trækspændingen i Beholdervæggen 500 r kg.

Den næste Ring ligger i m Dybde af 1,5 m, og Vandtrykket er her $p = 1,5 \times 1000 = 1500 \text{ kg/m}^2$.

Trækspændingen i Beholdervæggen er her 1500 r kg o. s. v. nedefter.

Vi har da:

I øverste Meter en Trækspænding	=	500 r kg
I 2den — — —	=	1500 —
I 3die — — —	=	2500 —
...		
...		
I n ^{te} — — —	=	$(n \div 0,5) 1000 \text{ r kg.}$

I hver Ring indlægges nu saa meget Jern, at dette alene er i Stand til at optage Trækspændingen, og der regnes sjældent med større Spænding end ca. 800 kg/cm², da Beholderen ellers næppe viser sig vandtæt.

Beholdervæggens Tykkelse retter sig efter Beholderens Højde. Ved Overkanten gør man den gerne 7 à 8 cm og forøger dem nedefter.

Eks. En Vandbeholder med 4 m Højde og Radius 2,5 m skal dimensioneres.

Der bliver 4 Ringe. Trækspændingerne bliver:

I øverste Ring	500 . 2,5 =	1250 kg
I 2den —	1500 . 2,5 =	3750 -
I 3die —	2500 . 2,5 =	6250 -
I 4de —	3500 . 2,5 =	8750 -

Jerntværsnittet:

I øverste Ring	$\frac{1250}{800} =$	1,56 cm ² (10 Ø 5 mm)
I 2den —	$\frac{3750}{800} =$	4,68 — (10 Ø 8 mm)

$$\text{I 3die Ring } \frac{6250}{800} = 7,8 \text{ — (10 Ø 10 mm)}$$

$$\text{I 4de — } \frac{8750}{800} = 10,9 \text{ — (10 Ø 12 mm)}$$

Vægtykkelsen gøres 8 cm foroven, 15 cm forneden.

Beholderens Bund retter sig efter, hvor Beholderen er anbragt. Staar Beholderen paa Jorden behøver den for saa vidt ingen Armering, maa blot støbes saa tyk og saa tæt, at den er vandtæt. Man kan f. Eks. passende give den samme Tykkelse som Beholdervæggen forneden. Almindeligvis lægges dog en Krydsarmering, for det Tilfælde, at Grunden sætter sig ujævnt. Man kan da passende anvende 80 à 100 kg Jern pr. m³ Beton. Overgangen mellem Beholdervæg og Bund maa udføres særlig omhyggelig, da der ellers let bliver en Utæthed der. Man bør ikke der lave et skarpt Hjørne, men derimod en Afrunding.

Bøjningsmomenter og Forskydninger i kon-
tinuerlige Bjælker med ligestore Faglængder og
jævnt fordelt Belastning.

$$M_{\max} = (A \cdot g + B \cdot p) l^2; Q_{\max} = (D \cdot g + E \cdot p) l.$$

$$M_{\min} = (A \cdot g + C \cdot p) l^2; Q_{\min} = (D \cdot g + F \cdot p) l.$$

	$\frac{x}{l}$	Bøjningsmomenter			Forskydninger		
		A	B	C	D	E	F
2 Fag (3 Understøtninger)	0,0	0,0000	0,0000	0,0000	$\div 0,375$	$\div 0,4375$	$\div 0,0625$
	0,1	$\div 0,0325$	$\div 0,03875$	$\div 0,00625$	$\div 0,275$	$\div 0,3437$	$\div 0,0687$
	0,2	$\div 0,0550$	$\div 0,06750$	$\div 0,01250$	$\div 0,175$	$\div 0,2624$	$\div 0,0874$
	0,3	$\div 0,0675$	$\div 0,08625$	$\div 0,01875$	$\div 0,075$	$\div 0,1932$	$\div 0,1182$
	0,4	$\div 0,0700$	$\div 0,09500$	$\div 0,02500$	$\div 0,025$	$\div 0,1359$	$\div 0,1609$
	0,5	$\div 0,0625$	$\div 0,09375$	$\div 0,03125$	$\div 0,125$	$\div 0,0898$	$\div 0,2148$
	0,6	$\div 0,0450$	$\div 0,08250$	$\div 0,03750$	$\div 0,225$	$\div 0,0544$	$\div 0,2794$
	0,7	$\div 0,0175$	$\div 0,06125$	$\div 0,04375$	$\div 0,325$	$\div 0,0287$	$\div 0,3537$
	0,8	$\div 0,0200$	$\div 0,03000$	$\div 0,05000$	$\div 0,425$	$\div 0,0119$	$\div 0,4369$
	0,9	$\div 0,0675$	$\div 0,00611$	$\div 0,07361$	$\div 0,525$	$\div 0,0027$	$\div 0,5277$
	1,0	$\div 0,1250$	0,00000	$\div 0,12500$	$\div 0,625$	0,0000	$\div 0,6250$
3 Fag (4 Understøtninger)	0,0	0,000	0,000	0,000	$\div 0,4$	$\div 0,4500$	$\div 0,0500$
	0,1	$\div 0,035$	$\div 0,040$	$\div 0,005$	$\div 0,3$	$\div 0,3560$	$\div 0,0563$
	0,2	$\div 0,060$	$\div 0,070$	$\div 0,010$	$\div 0,2$	$\div 0,2752$	$\div 0,0752$
	0,3	$\div 0,075$	$\div 0,090$	$\div 0,015$	$\div 0,1$	$\div 0,2065$	$\div 0,1065$
	0,4	$\div 0,080$	$\div 0,100$	$\div 0,020$	0,0	$\div 0,1496$	$\div 0,1496$
	0,5	$\div 0,075$	$\div 0,100$	$\div 0,025$	$\div 0,1$	$\div 0,1042$	$\div 0,2042$
	0,6	$\div 0,060$	$\div 0,090$	$\div 0,030$	$\div 0,2$	$\div 0,0694$	$\div 0,2694$
	0,7	$\div 0,035$	$\div 0,070$	$\div 0,035$	$\div 0,3$	$\div 0,0443$	$\div 0,3443$
	0,8	0,000	$\div 0,04022$	$\div 0,04022$	$\div 0,4$	$\div 0,0280$	$\div 0,4280$
	0,9	$\div 0,045$	$\div 0,02042$	$\div 0,06542$	$\div 0,5$	$\div 0,0193$	$\div 0,5191$
	1,0	$\div 0,1$	$\div 0,01667$	$\div 0,11667$	$\div 0,6$	$\div 0,0167$	$\div 0,6167$
	1,0	$\div 0,1$	$\div 0,01667$	$\div 0,11667$	$\div 0,5$	$\div 0,5833$	$\div 0,0833$
	1,1	$\div 0,055$	$\div 0,00748$	$\div 0,06248$	$\div 0,4$	$\div 0,4870$	$\div 0,0870$
	1,2	$\div 0,020$	$\div 0,030$	$\div 0,050$	$\div 0,3$	$\div 0,3991$	$\div 0,0991$
	1,3	$\div 0,005$	$\div 0,055$	$\div 0,050$	$\div 0,2$	$\div 0,3210$	$\div 0,1210$
	1,4	$\div 0,020$	$\div 0,070$	$\div 0,050$	$\div 0,1$	$\div 0,2537$	$\div 0,1537$
	1,5	$\div 0,025$	$\div 0,075$	$\div 0,050$	0,0	$\div 0,1979$	$\div 0,1970$

Rundjernstabel.

Diameter mm	Vægt kg/m	Tværsnitsareal i cm ² af											
		1 Stk.	2 Stk.	3 Stk.	4 Stk.	5 Stk.	6 Stk.	7 Stk.	8 Stk.	9 Stk.	10 Stk.	11 Stk.	12 Stk.
5	0,154	0,20	0,39	0,59	0,79	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96	2,16	2,36
6	0,222	0,28	0,57	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,55	2,83	3,11	3,39
7	0,302	0,39	0,77	1,16	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	3,47	3,85	4,23	4,62
8	0,395	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03	5,53	6,03
9	0,499	0,64	1,27	1,91	2,55	3,18	3,82	4,45	5,09	5,73	6,36	7,00	7,63
10	0,617	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85	8,64	9,43
11	0,746	0,95	1,90	2,85	3,80	4,75	5,70	6,65	7,60	8,55	9,50	10,45	11,40
12	0,888	1,13	2,26	3,39	4,52	5,66	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31	12,44	13,57
13	1,042	1,33	2,66	3,98	5,31	6,64	7,96	9,29	10,62	11,95	13,27	14,60	15,93
14	1,208	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,32	13,85	15,39	16,93	18,47
15	1,387	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60	12,37	14,14	15,90	17,67	19,44	21,21
16	1,578	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11	22,12	24,13
17	1,782	2,27	4,54	6,81	9,08	11,35	13,62	15,89	18,16	20,43	22,70	24,97	27,24
18	1,998	2,55	5,09	7,63	10,18	12,72	15,27	17,81	20,36	22,90	25,45	27,99	30,54
19	2,226	2,84	5,67	8,51	11,34	14,18	17,01	19,85	22,68	25,52	28,35	31,19	34,02
20	2,466	3,14	6,28	9,43	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42	34,56	37,70
21	2,719	3,46	6,93	10,39	13,85	17,32	20,78	24,25	27,71	31,17	34,64	38,10	41,56
22	2,984	3,80	7,60	11,40	15,21	19,01	22,81	26,61	30,41	34,21	38,01	41,81	45,62
23	3,261	4,16	8,31	12,46	16,62	20,77	24,93	29,08	33,24	37,39	41,55	45,70	49,86
24	3,551	4,52	9,05	13,57	18,10	22,62	27,14	31,67	36,19	40,72	45,24	49,76	54,29
25	3,853	4,91	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18	49,09	54,00	58,90
26	4,168	5,31	10,62	15,93	21,24	26,55	31,86	37,16	42,47	47,78	53,09	58,40	63,71
27	4,495	5,73	11,45	17,18	22,90	28,63	34,35	40,08	45,80	51,53	57,26	62,98	68,71
28	4,834	6,16	12,32	18,47	24,63	30,79	36,95	43,10	49,26	55,42	61,58	67,73	73,89
29	5,185	6,60	13,21	19,81	26,42	33,02	39,62	46,22	52,84	59,44	66,05	72,65	79,25
30	5,549	7,07	14,14	21,21	28,27	35,34	42,41	49,48	56,55	63,62	70,69	77,75	84,82
32	6,313	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42	88,47	96,51
35	7,553	9,62	19,24	28,86	38,48	48,11	57,73	67,35	76,97	86,59	96,21	105,8	115,5
40	9,865	12,57	25,13	37,70	50,27	62,83	75,40	87,96	100,5	113,1	125,7	138,2	150,8

Rundjernstabel.

Diameter mm	Vægt kg/m	Omkreds i cm af											
		1 Stk.	2 Stk.	3 Stk.	4 Stk.	5 Stk.	6 Stk.	7 Stk.	8 Stk.	9 Stk.	10 Stk.	11 Stk.	12 Stk.
5	0,154	1,57	3,14	4,71	6,28	7,85	9,43	11,00	12,57	14,14	15,71	17,28	18,85
6	0,222	1,89	3,77	5,66	7,54	9,43	11,31	13,19	15,08	16,97	18,85	20,74	22,62
7	0,302	2,20	4,40	6,60	8,80	11,00	13,19	15,39	17,59	19,79	21,99	24,19	26,39
8	0,395	2,51	5,03	7,54	10,05	12,57	15,08	17,59	20,11	22,62	25,13	27,65	30,16
9	0,499	2,83	5,66	8,48	11,31	14,14	16,96	19,79	22,62	25,45	28,27	31,10	33,93
10	0,617	3,14	6,28	9,43	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42	34,56	37,70
11	0,746	3,46	6,91	10,37	13,82	17,28	20,74	24,19	27,65	31,10	34,56	38,01	41,47
12	0,888	3,77	7,54	11,31	15,08	18,85	22,62	26,39	30,16	33,93	37,70	41,47	45,24
13	1,042	4,08	8,17	12,25	16,34	20,42	24,50	28,59	32,67	36,76	40,84	44,93	49,01
14	1,208	4,40	8,80	13,19	17,59	21,99	26,39	30,79	35,19	39,58	43,98	48,38	52,78
15	1,387	4,71	9,42	14,14	18,85	23,56	28,27	32,99	37,70	42,41	47,12	51,84	56,55
16	1,578	5,03	10,05	15,08	20,11	25,13	30,16	35,19	40,21	45,24	50,27	55,29	60,32
17	1,782	5,34	10,68	16,02	21,36	26,70	32,04	37,38	42,73	48,07	53,41	58,75	64,09
18	1,998	5,66	11,31	16,96	22,62	28,27	33,93	39,58	45,24	50,89	56,55	62,20	67,86
19	2,226	5,97	11,94	17,91	23,88	29,85	35,81	41,78	47,75	53,72	59,69	65,66	71,83
20	2,466	6,28	12,57	18,85	25,13	31,42	37,70	43,98	50,27	56,55	62,83	69,12	75,40
21	2,719	6,60	13,19	19,79	26,39	32,99	39,58	46,18	52,78	59,38	65,97	72,57	79,17
22	2,984	6,91	13,82	20,74	27,65	34,56	41,47	48,38	55,29	62,20	69,12	76,03	82,94
23	3,261	7,23	14,45	21,68	28,90	36,13	43,35	50,58	57,81	65,03	72,26	79,48	86,71
24	3,551	7,54	15,08	22,62	30,16	37,70	45,24	52,78	60,32	67,86	75,40	82,94	90,48
25	3,853	7,85	15,71	23,56	31,42	39,27	47,12	54,98	62,83	70,69	78,54	86,39	94,25
26	4,168	8,17	16,34	24,50	32,67	40,84	49,01	57,18	65,34	73,51	81,68	89,85	98,02
27	4,495	8,48	16,96	25,45	33,93	42,41	50,89	59,38	67,86	76,34	84,82	93,31	101,8
28	4,834	8,80	17,59	26,39	35,19	43,98	52,78	61,57	70,37	79,17	87,96	96,76	105,6
29	5,185	9,11	18,22	27,33	36,44	45,55	54,66	63,77	72,88	81,98	91,10	99,21	108,3
30	5,549	9,43	18,85	28,27	37,70	47,12	56,55	65,97	75,40	84,82	94,25	103,7	113,1
32	6,313	10,05	20,11	30,16	40,21	50,27	60,32	70,37	80,42	90,48	100,5	110,6	120,6
35	7,553	11,00	21,99	32,99	43,98	54,98	65,97	76,97	87,96	98,96	110,0	121,0	132,0
40	9,865	12,57	25,13	37,70	50,27	62,83	75,40	87,96	100,5	113,1	125,7	138,2	150,8

