

CHR. NØKKENTVED OG B.J. RAMBØLL

**FUNDERING**

OG

**BÆRENDE KONSTRUKTIONER**

CHR. NØKKENTVED OG B.J. RAMBØLL

**FUNDERING**

OG

**BÆRENDE KONSTRUKTIONER**

DET KONGELIGE AKADEMI FOR DE SKØNNE KUNSTER  
KØBENHAVN 1945

*Copyright by B. J. Rambøll*

Professor Dr. *Nøkkentveds* Forelæsninger paa Kunstakademiet har hidtil kun foreligget som private Notater. Paa Grundlag af disse Notater, som i sig rummer en Del af Professorens rige Erfaring, bad Professor Nøkkentved mig, kort før sin Død, om at skrive denne Bog.

Bogen indeholder ikke mange Beregninger, den tilsigter i første Række at give et Indblik i forskellige Konstruktioners Anvendelsesomraade og en Forstaaelse af deres statiske Virkemaade, egnet til at bibringe Læseren et Overblik over de Konstruktionsmuligheder, der foreligger i hvert enkelt Tilfælde.

Lektor, Dr. *I. G. Hannemann* har gennemset Manuskriptet og givet mig mange gode Raad.

København, Juli 1945.

*B. J. Rambøll.*

## INDHOLDSFORTEGNELSE

Fundering.	Side
Jordens Egenskaber .....	9
Jordbundsundersøgelser .....	12
Funderingsberegningens Grundlag .....	15
Almindelige Fundamenter .....	20
Pælefundering .....	25
Specielle Funderingsmetoder .....	33
Jernbetonkonstruktioner.	
Materialet .....	36
Etageskillerser .....	39
Søjler .....	50
Jernbetonskelethuse .....	52
Rammer .....	63
Buer .....	66
Kupler .....	73
Bærende Skiver .....	75
Jernbetontrapper .....	79
Skalkonstruktioner .....	83
Taarne, Skorstene m. m. ....	95
Staalkonstruktioner.	
Materialet .....	97
Forbindelser .....	98
Profilr .....	100
Etageskillerser .....	101
Spærfag .....	103
Rammer og Buer .....	107
Staalskelethuse .....	111
Kupler .....	113
Taarne og Master .....	115
Trækonstruktioner.	
Materialet .....	116
Forbindelser .....	118
Massive Bjælker .....	120
Gittersystemer .....	123
Interimskonstruktioner .....	126
Spærfag .....	126
Rammer og Buer .....	127
Taarne og Master .....	133

## FUNDERING

Et Bygværks Fundament skal kunne overføre de paa Bygværket virkende Kræfter — Egenvægt, Nyttelast, Jordtryk o. s. v. — til Jordbunden paa en saadan Maade, at Bygværket ikke synker mere end man alt efter dets Konstruktion og Bestemmelse kan tolerere.

For at kunne dimensionere et Fundament forsvarligt, maa man først have Kendskab til Jordbundens Art og være klar over, hvordan den reagerer overfor en Belastning.

En Vædske vil skille sig med vandret Overflade, fordi der ikke findes Gnidningsmodstand, Friktion, mellem de enkelte Vædskelede. En Jordart, f. Eks. tørt Sand, indstiller sig med en bestemt Skræntvinkel, *Friktionsvinklen*, fordi de enkelte Korn ved deres Vægt udøver et Tryk paa hinanden, saaledes at der imellem to Korn som er presset sammen, vil opstaa en vis Friktion, der hindrer Kornene i at glide eller flyde ud som en Vædske. Jo større Trykket er, desto større er Friktionskraften. Der er praktisk taget Proportionalitet mellem disse to Størrelser.

Friktionsvinklen  $\varphi$  kan findes ved Overklipningsforsøg med et lille Jordlegeme anbragt i en to-delt Kasse (Fig. 1), idet det viser sig, at Proportionalitetsfaktoren er lig med  $\text{tg } \varphi$ . Den Kraft  $H$ , der kræves for at klippe Jordlegemet over, og som maa være af samme Størrelse som Friktionskraften, er givet ved Udtrykket:

$$H = P \cdot \text{tg } \varphi .$$

*En udførlig Fremstilling af Funderingsproblemer er givet i G. Schönweller: Fundering, København 1935.*

**Jordens  
Egen-  
skaber.  
Friktion.**

## Jordens Egen-skaber.

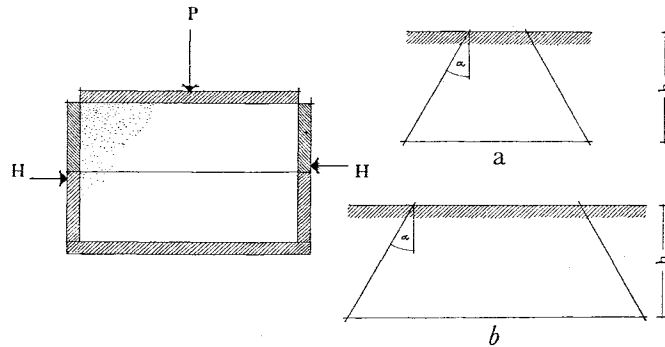


Fig. 1—2.

»Normer for Fundering og Jordtryk«. Foreligger ved denne Bogs Udarbejdelse endnu kun som Forslag. Friktionsvinkler.

De danske Normer angiver følgende Værdier for Friktionsvinkler:

### I Opfyldning

	Over Vandlinien	Under Vandlinien
1. Sand og Grus .....	$\varphi = 35^\circ$	$30^\circ$
2. Sand med nogen Lerindhold...	$\varphi = 35^\circ$	$25^\circ$
3. Slet Fyld, som Dynd, opslemmet Ler og Flydesand.....	$\varphi = 0^\circ$	$0^\circ$

### I naturlig Aflejring.

1. Sand og Grus .....	$\varphi = 35^\circ$	$30^\circ$
2. Sand med nogen Lerindhold:		
I fast Aflejring .....	$\varphi = 40^\circ$	$35^\circ$
I mindre fast Aflejring .....	$\varphi = 35^\circ$	$25^\circ$

## Kohæsion.

Ægte Kohæsion.

Foruden Friktionen, som især har Betydning for Sand, Grus, Sten o. lign., kan der forekomme andre indre Kræfter i en Jordart. Som ægte Kohæsion betegnes den direkte Sammenhængskraft i Jorden, der skyldes Adhæsion, Klæbekraft, mellem de enkelte Partikler. Adhæsionen er større, jo større Anlægsfladen mellem Partiklerne er, d. v. s. Kohæsionen vokser med det samlede Berøringsareal og maa følgelig være stor for en Jordart som Ler, der bestaar af ganske smaa Korn, medens den f. Eks. er forsvindende lille for Sand, da Klæbekraften mellem de forholdsvis grove og glatte Korn praktisk taget er Nul.

## Jordens Egen-skaber.

Uægte Kohæsion.

Kohæsionen kan faa Ler til at staa med lodret Skrænt. Naar Sand staa med en Skræntvinkel, der er større end Friktionsvinklen, er det altid vaadt, og det skyldes da ikke den ovenfor nævnte Kohæsion men den saakaldte uægte Kohæsion, som stammer fra Overfladespændinger i Porenes Vandpartikler, der maa modsvares af et Undertryk i Vandet, hvorved de enkelte Jorddele bliver suget mod hinanden. Den uægte Kohæsion bør aldrig tages i Beregning, da den er meget usikker, idet den er helt afhængig af Fugtighedsgraden.

Er Vandmængden for rigelig, kan de enkelte Korn miste Forbindelsen med hinanden, d. v. s. der findes ikke mere de fine Porer, som betinger Overfladespændingerne og den deraf følgende uægte Kohæsion; men ogsaa den ægte Kohæsion kan svigte, idet Vandet ophæver Adhæsionen, hvorved Jordarten kan flyde ud og som f. Eks. gennemvædet plastisk Ler stille sig med omtrent vandret Overflade.

Naar Jorden belastes, vil der altid finde nogen Sammentrykning Sted. Denne Sammentrykning eller Nedsynkning er karakteriseret ved en for samme Jordart konstant Størrelse, *Nedsynkningstallet*  $c$ . Kaldes Nedsynkningen  $\delta$  og Trykket pr. Arealenhed  $\sigma$  kan følgende Relation opstilles:

## Jordens Sammentrykning.

*Nedsynkningstal.*

$$\delta = \frac{\sigma}{c} \quad \text{eller} \quad c = \frac{\sigma}{\delta}.$$

Naar  $\delta = 1$  cm, faas  $c = \sigma$ , d. v. s. Nedsynkningstallet er lig med den Belastning pr. Arealenhed der svarer til Nedsynkningen 1 cm.

De Talværdier, man i Litteraturen finder for  $c$ , er selv for samme Jordarter ret varierende. Dette skyldes sikkert først og fremmest den Omstændighed, at  $c$  er afhængig af Belastningsfladens Størrelse. Som Eksempel paa Angivelser i Litteraturen af  $c$ 's Størrelse kan nævnes:

For meget fast Bund .....  $c = 20-40$  kg/cm<sup>3</sup>  
 For fast lejret Grus eller groft Sand .  $c = 10-15$  kg/cm<sup>3</sup>  
 For løst lejret Sand .....  $c = 2-10$  kg/cm<sup>3</sup>

## Jordens Egen-skaber.

*Nedsynkningens Afhængighed af Belastningsfladens Størrelse.*

At Nedsynkningen er afhængig af Belastningsfladens Størrelse indses let ved et Blik paa Fig. 2. Belastningen spredes ned gennem Jorden under en bestemt Vinkel  $\alpha$ . Der ses, at Spredningen har størst relativ Betydning, naar Belastningsfladen er lille. Hvis man derfor har samme Belastning pr. Arealenhed ovenpaa Jorden, vil Trykket pr. Arealenhed i en Dybde  $h$  være mindre for den lille Belastningsflade i Fig. 2a end for den store Belastningsflade i Fig. 2b.

Det kan f. Eks. nævnes, at man ved Forsøg med Sandbund for en Belastning paa  $8 \text{ kg/cm}^2$  har fundet:

$$\delta = 1,0 \text{ cm for en Belastningsflade paa } 600 \text{ cm}^2$$

$$\delta = 3,7 \text{ cm for en Belastningsflade paa } 10000 \text{ cm}^2$$

Man maa altsaa være klar over, at man ved en Prøvebelastning, hvor det belastede Areal er mindre end i det færdige Bygværk, finder for smaa Nedsynkninger d. v. s. Resultater, der er paa den usikre Side.

## Jordbundsundersøgelser.

For at kunne karakterisere en Jordart helt sikkert maa man foretage en meget indgaaende Undersøgelse, bestemme Friktion, Kohæsion, Vandindhold m. m.

Ved et almindeligt Bygværk nøjes man ofte med at fastslaa Jordbundens Art, eventuelt ved Gravning af nogle spredte Huller paa Grunden, og derefter gennem Erfaringen fastsætte den tilladelige Paavirkning. Selv om denne Fremgangsmaade kan rumme et vist Faremoment, vil man dog ofte finde den forsvarlig, især naar man ved Sammenligning med nærliggende Bygværker kan konstatere, at der intet usædvanligt er ved Jorden i den nærmeste Omegn. En lokal Uhomogenitet af Jorden er dog ikke udelukket, f. Eks. kan et fordums Vandløb have aflejret et ikke bæredygtigt Lag netop paa det projekterede Bygværks Plads, et Forhold, der, hvis det først opdages ved Udgravningen eller endnu senere, kan medføre ubehagelige Ovraskelser.

Det lønner sig derfor ofte, og i hvert Fald, hvis der er Tale om et betydeligt Bygværk eller om en Konstruktion, der er særlig følsom over for en Nedsynkning, f. Eks. en Skorsten,

at foretage en Undersøgelse, der fører til en sikrere Vurdering, end den man faar blot ved at »se paa Jorden«.

Gennem *Prøveboringer* er det muligt paa en overkommelig Maade at skaffe sig et godt Begreb om Grundens Bæreevne.

Den Dybde, hvortil Boringerne føres ned, bør altid være en Del større end Funderingsdybden, da et ikke bæredygtigt Lag selv i ret stor Dybde, kan indvirke paa et Bygværks Nedsynkning.

I det følgende skal nogle hyppigt anvendte Jordbor omtales.

1. *Tallerkenboret* er et Proptrækker-lignende Bor med meget brede Skrueflader, hvorpaa Jorden kan blive liggende, naar Boret med Mellemrum trækkes op. Det egner sig kun til Jord, der ikke er altfor haard.

2. *Snegleboret*, har Lighed med Tallerkenboret, men har smallere Skrueflader og egner sig især til Boring i fastlejret Ler.

3. *Cylinderboret* bestaar af et cylindrisk Rør forsynet med en langsgaaende Slidse med skærpede Kanter, og som forneden har en skeformet Afslutning. Under Borets Drejning føres Jorden ind i Cylinderens Indre. Egner sig til Boring i blød Bund og sandet Jord.

De her nævnte Bor føres alle ned i Jorden ved Drejning af Boret og samtidigt Tryk paa Borestangen.

4. *Mejselboret* bestaar af en Staalstang, som ender i en Mejsel, der ved gentagne Stød findeler Materialet i Borehullets Bund. Det benyttes ved klippeagtig Grund. Det sønderdelte Materiale, Boremelet, kan fjernes ved Skylning, idet der under Boringen tilføres Trykvand gennem et Tilledningsrør, der udmunder ved Bunden af Borehullet. Boremelet opslemmes i Vandet, der strømmer op igennem Borehullet.

Ved Undersøgelse af det Materiale som en Prøveboring bringer for Dagens Lys, kan Jordens Bæreevne vurderes.

En mere direkte Bedømmelse, der ganske vist ikke altid er særlig paalidelig, faas ved Anvendelse af et *Spidsbor*, der bestaar af en Jernstang, som ender i et Spiralbor. Boret

## Jordbundsundersøgelser.

### Prøveboringer.

*Tallerkenbor.*

*Sneglebor.*

*Cylinderbor.*

*Mejselbor.*

*Spidsbor.*

## Jordbundsundersøgelser.

føres ned i Jorden alene ved en Belastning, idet man efterhaanden belaster Boret, ved Anbringelse af Vægte, f. Eks. 5 eller 10 kg ad Gangen, paa Stangens øverste Ende. Naar Belastningen har naaet en bestemt Størrelse, f. Eks. 100 kg, og Boret er kommet i Ro, skrues det ned i Bunden. Ved at iagttage hvor meget Boret synker, først for hver Belastnings-tilvækst og derefter for et vist Antal Omdrejninger, kan man paa Grundlag af Erfaringer fra andre Boringer danne sig et Begreb om Grundens Bæreevne.

## Prøvebelastninger.

I visse Tilfælde benyttes *Prøvebelastninger*, idet man paa en Belastningsflade anbringer en tung Vægt, f. Eks. krydsende Lag af Jernbaneskiner, Sveller med Sandsække o. lign., og maaler Nedsynkningen. Det siger sig selv, at en saadan Opstilling vil være ret kostbar, og en Prøvebelastning foretages derfor kun for større Bygværker, og da kun naar andre Undersøgelser ikke synes at give fyldestgørende Oplysninger. Ogsaa ved denne Metode optræder en Usikkerhed, idet Nedsynkningen, som foran nævnt er afhængig af Belastningsfladens Størrelse.

## Jordarter.

Blandt de Jordarter, som man ved Bundundersøgelser hyppigt træffer paa, skal nedenfor nævnes følgende:

### Klippe.

1. *Klippe*. De haarde eruptive Klippedannelser findes som bekendt kun i isolerede Partier her i Landet og har derfor herhjemme ringe Betydning. Derimod er det ikke usædvanligt, at Kalkklipper, som findes i Undergrunden, naar op i Nærheden af Overfladen. Bæreevnen er fortrinlig.

### Sand og Grus.

2. *Sand og Grus* bestaar af forholdsvis store Korn med tilsvarende stort Porerumfang. Der er her væsentligt Tale om en Friktionsjord, idet Kohæsionen er ganske ringe. Er i Almindelighed velegnet til Fundering.

### Flydesand.

3. *Flydesand* kan fremkomme, naar fint Sands Vandindhold er større end Porerumfanget. Det kan godt bruges til at fundere paa, naar det er sikkert, at det ikke kan vige bort under Belastningen. En Udgravning i Nærheden af et Bygværk, funderet paa Flydesand, rummer en Fare, idet Sandet som en tyktflydende Vædske kan løbe ned i Udgravningen og bort under Bygværket. Hvis Flydesandet ligger saa dybt,

at det ikke kan forstyrres, behøver man i Almindelighed ikke at nære nogen Betænkelighed ved at fundere paa den ovenliggende Grund.

4. *Ler* er en meget finkornet Jordart som tidligere nævnt i Reglen med stor Kohæsion. Fastlejret Ler som ikke er udsat for Udblødning er fortræffelig at fundere paa.

5. Blandinger af *Ler og Sand* er meget hyppige (Morænedannelser) og er i Almindelighed velegnede til Fundering.

6. *Tørvejord* og lignende Jordarter med stort Indhold af organiske Bestanddele, kan man sædvanligvis ikke fundere paa.

7. *Opfyldt Grund* af Grus og Sand kan være saa fastlejret, at Funderingsforholdene er tilfredsstillende. En Opfyldning af rent Ler vil i Reglen være daarligt egnet til at fundere paa, idet en saadan Grund kan vedblive at synke igennem en længere Aarrække.

Naar det er nødvendigt at paafylde, før en Fundering foretages, som f. Eks. naar en Del af et Bygværks Fundamenter maa støbes paa et Areal, der er berørt af Udgravningen fra andre Fundamenter, som er ført særlig dybt ned, maa Paafylningen, hvortil bør anvendes Grus eller groft Sand, foretages med største Omhu, idet Jordlagene bør paaføres i tynde Lag, som stemples kraftigt under stadig Vanding.

Naar Byggegrundsundersøgelsen er foretaget, fastsættes før selve Funderingsberegningen paabegyndes:

1. Funderingsmetoden (Alm. Fundering, Pælefundering etc.).

2. Funderingsdybden (svarende til bæredygtige Lags Beliggenhed).

3. Tilladelig Paavirkning. (Paa Byggegrunden eller Pælene), alt under Hensyn til de Nedsynkninger, som det paagældende Bygværk kan taale.

Til Punkt 2 skal det bemærkes, at Fundamentets Underkant i alle Tilfælde maa føres ned i nogenlunde frostfri Dybde, her i Landet ca. 1 m mindst 0,8 m, da Frosten

## Jordbundsundersøgelser.

*Ler.*

*Ler og Sand.*

*Tørvejord.*

*Opfyldt Grund.*

## Funderingsberegningens Grundlag.



## Funde- ringsbereg- ningens Grundlag.

### Tilladelige Paa- virkninger paa Grunden.

Udmærket Byggegrund  
4 kg/cm<sup>2</sup>.

God Byggegrund  
3 kg/cm<sup>2</sup>.

Nogenlunde god  
Byggegrund  
2 kg/cm<sup>2</sup>.

### Sikkerhed mod Brud.

ellers kan trænge ned i Grunden under Fundamentet, der risikerer at blive løftet, idet Vandet i Jorden vil fryse til Is under en Volumenudvidelse.

Til Fastsættelse af de tilladelige Paavirkninger kan man som Rettesnor i de Tilfælde, hvor der ikke er foretaget nøjere Undersøgelser som f. Eks. Prøvebelastninger, benytte nedenstaaende Angivelser, der findes i det foran nævnte For-  
slag til de danske Normer for Fundering.

1. *Udmærket Byggegrund* 4 kg/cm<sup>2</sup>:  
Fastlejret, lerfrit, groft Sand og Grus (Istidsaflejringer).  
Fast, graat, sandet, mere eller mindre stenholdigt Ler, der ikke udblødes (fast Moræneler).
2. *God Byggegrund* 3 kg/cm<sup>2</sup>:  
Fastlejret, skarpt, lerfrit, middelfint Sand.  
Fastlejret, leret Sand og Grus (Istidsaflejringer).  
Fast, fedt Ler, som ikke udblødes (f. Eks. fast stenfrit Istidsler).
3. *Nogenlunde god Byggegrund* 2 kg/cm<sup>2</sup>:  
Fastlejret fint Sand, sikret mod, at Lejringsforholdene forringes.  
Løst lejret, lerfrit, groft Sand.  
Mindre fastlejret, sandet Ler, som ikke udblødes (f. Eks. nogenlunde fast Moræneler).

Ovenstaaende Værdier angiver tilladelige Middeltryk paa Byggegrunden ved Fundering i frostfri Dybde, forudsat at Trykfordelingen ikke er meget uensformig, og at Jordlagene ikke underlejres af bløde Lag. Normerne anfører dog tillige, at ved sædvanlige mindre Konstruktioner kan det største tilladelige Kantryk, dersom en korrekt statisk Beregning af de farligste Tryk paa Byggegrunden gennemføres, i Reglen sættes til 1,5 Gange de ovenfor angivne Værdier. For hvilende Belastning alene maa Kantrykket dog ikke overstige 1,25 Gange de tilladelige Middeltryk.

De tilladelige Paavirkninger er ikke alene fastsat under Hensyn til en Begrænsning af Nedsynkningen, men de rummer tillige i sig en Sikkerhed mod »Brud«. En egentlig Brud-

grænse, svarende f. Eks. til en Staalstangs Brudgrænse, findes ganske vist ikke, men naar Belastningen overstiger en vis Størrelse, indtræder der i Jorden større blivende Deformationer, idet Jorden under Bygværket vil skubbe sig ud til Siden og derved skyde de ovenliggende Jordlag i Vejret. Bygværkets Nedsynkning, der kan være betydelig, og som har et tilfældigt Præg, idet den tiltager rykvis i Modsætning til den jævne Nedsynkning, der ved svagere Belastning skyldes Jordens Kompression, kan være katastrofal. Den tilladelige Belastning maa derfor fastsættes med en rimelig Sikkerhed over for Jordens »Brudbelastning«.

Naar man sammenligner de tilladelige Tryk med de foran nævnte Nedsynkningstal  $c$ , finder man f. Eks. for »god Byggegrund«  $\delta \sim \frac{3}{10} = 0,3$  cm. Det er altsaa Nedsynkninger af denne Størrelsesorden man kan vente. Ikke saa sjældent maales Nedsynkninger paa 0,5—1,0 cm.

Hvis man har med skraa Kræfter at gøre f. Eks. ved et Skorstensfundament, hvor Skorstenen er paavirket af en Vindbelastning, er det ikke tilstrækkeligt at sikre sig imod et for stort Tryk paa Grunden. Det viser sig ved en Undersøgelse af Skorstenens Stabilitet, at selv om man har fundet passende Tryk paa Grunden, er det ikke udelukket, at en mindre Forøgelse af de vandrette Kræfter kan faa Skorstenen til at vælte (jævnf. Bemærkninger midt paa S. 21). Man fastsætter derfor en Sikkerhedsgrad  $n$  mod Væltning, d. v. s. man fordrer, at de stabiliserende lodrette Kræfters Moment omkring den Kant, hvorom Fundamentet under en Væltning vil dreje sig, mindst er lige saa stort som de væltende Kræfters Moment, naar dette er multipliceret med  $n$ .

Med de paa Fig. 3 viste Betegnelser, hvor  $N$  er Skorstenens og Fundamentets Egenvægt og  $V$  Vindkræfternes Resultant, finder man derfor følgende Udtryk

$$Na \geq nVb.$$

$n$  sættes i Reglen til 1,5 à 2,0.

Paa Fig. 2 er det vist, hvordan en lodret Belastning breder

## Funde- ringsbereg- ningens Grundlag.

### Sikkerhed mod Væltning.

### Vandret Jord- tryk paa lodret Væg.

## Funde- ringsbere- ningens Grundlag.

sig ud til Siderne i Jorden. Her er Kræfterne altsaa skraat rettede og har derfor Komposanter i vandret Retning. En Væg, der nedrammes i Nærheden af Belastningen, maa følgelig blive paavirket af vandrette Kræfter: Det *aktive* Jordtryk. Under Paavirkning af disse Kræfter vil Væggen blive trykket ind mod den bagved liggende Jord, der udøver et vist Modtryk: Det *passive* Jordtryk, og Væggen bliver

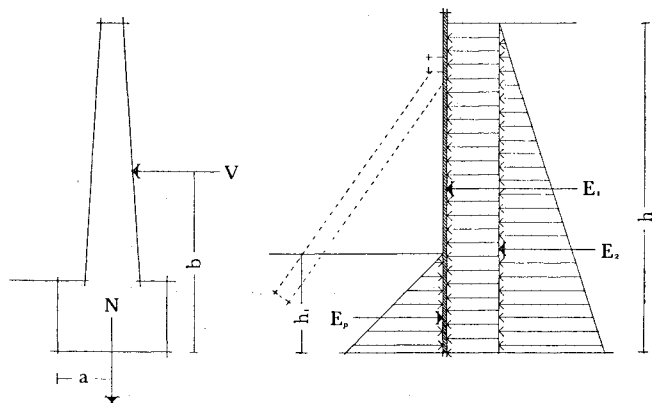


Fig. 3—4.

staaende. Fjernes den bagved liggende Jord helt eller delvis som paa Fig. 4, der f. Eks. kan forestille et Snit i en Fundamentsudgravnings Begrænsning, maa Væggen i Reglen afstives, f. Eks. af Skraastivere som vist med punkteret Streg.

Der skal nedenfor anføres nogle Formler for Jordtryk paa en lodret Væg, idet selve Udledningen, der kan findes i Værker, der specielt omhandler Jordtryklæren, her forbigaas. Udtrykkene gælder for en kohæsionsfri Jord med Friktionsvinkel  $\varphi$ . Hvis der er Kohæsion i Jorden, bliver Jordtrykket mindre, det er altsaa paa den sikre Side at se bort fra denne Egenskab. Iøvrigt kan der opstilles lignende Udtryk, hvori Kohæsionens Virkning indgaar.

En lodret Belastning  $p$  pr.  $m^2$  paa Jordoverfladen giver et vandret Tryk pr.  $m^2$  af den lodrette Væg paa

$$p \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right),$$

Se f. Eks.  
G. Schönweller:  
Fundering.  
København 1935.

Aktivt Jordtryk fra  
Fladebelastning.

d. v. s. Resultanten  $E_1$  pr. løbende Meter paa en Væg af Højden  $h$  bliver

$$E_1 = ph \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right),$$

virkende i Afstanden  $\frac{h}{2}$  under Jordoverfladen (Fig. 4).

Hertil kommer et Jordtryk fra Vægten af selve Jorden bag Væggen. Naar Jordens Vægtfylde er  $\gamma$ , er Vægten af den ovenliggende Jord i et Punkt, der ligger  $h$  Meter under Overfladen,  $\gamma h$  pr.  $m^2$  og Trykket pr.  $m^2$  af den lodrette Væg følgelig

$$\gamma h \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right),$$

d. v. s. Trykket, der naturligvis er 0 i Overfladen ( $h = 0$ ), varierer retlinet efter en Trekant som vist paa Fig. 4. Resultanten  $E_2$  pr. løbende Meter paa en Væg af Højden  $h$  bliver lig med Trekantens Areal:

$$E_2 = \frac{1}{2} \gamma h^2 \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right),$$

virkende i Trekantens Tyngdepunkt altsaa i Afstanden  $\frac{2}{3}h$  under Overfladen.

Dersom der ikke findes Afstivninger vil Væggen presses ind mod Jorden paa den modsatte Side (Fig. 4) og Jorden vil yde et Modtryk, et passivt Jordtryk, hvis maksimale Størrelse pr.  $m^2$  kan sættes lig

$$\gamma h_1 \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

og hvis totale Størrelse altsaa bliver

$$E_p = \frac{1}{2} \gamma h_1^2 \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

Jordens Vægtfylde  $\gamma$  kan i Almindelighed for tør og vaad Jord sættes til henholdsvis  $1,8 \text{ t/m}^3$  og  $2,0 \text{ t/m}^3$ .

Det er betydelige Tryk, der kan blive Tale om. En Opfyldning af f. Eks. Sand og Grus med Friktionsvinkel  $30^\circ$  og Vægtfylde  $2,0 \text{ t/m}^3$  kan paa en Væg med

## Funde- ringsbere- ningens Grundlag.

Aktivt Jordtryk fra  
Jorden selv.

Passivt Jordtryk.

Eksempel paa  
Jordtryksbere-  
ning.

## Fundeberegningsgrundlag.

Højde f. Eks. 5 m udøve et Tryk pr. løbende m paa:

$$E_2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 5^2 \cdot \frac{1}{3} = 8,3 \text{ t/m}$$

Hvis Fylden bestaar af Ler der kan udblødes, og som har en Friktionsvinkel  $\sim 0$ , faas:

$$E_2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 5^2 \cdot 1 = 25 \text{ t/m.}$$

Det ses at Friktionsvinklen har stor Indflydelse paa Trykkets Størrelse. Dens nøjagtige Værdi kendes i Almindelighed ikke. Men man maa være forsigtig med at anslaa den for højt, da man saa finder et mindre Tryk end det virkelige.

## Almindelige Fundamenter.

### Centralt belastede Fundamenter.

Fundamentet for en almindelig Mur udføres i Reglen af Grovbeton i Blandingsforholdet 1:3:5 eller 1:4:7.

Naar Belastningens Resultant  $N$  gaar gennem Fundamentsfladens Tyngdepunkt regner man, skønt det ikke er helt rigtigt, med en jævn Reaktionsfordeling under Fundamentet som vist paa Fig. 5. For et rektangulært Fundament med Bredde og Længde henholdsvis  $b$  og  $l$  er Spændingen  $\sigma$  i et vilkaarligt Punkt derfor givet ved

$$\sigma = \frac{N}{bl},$$

der skal være mindre end den tilladelige Spænding.

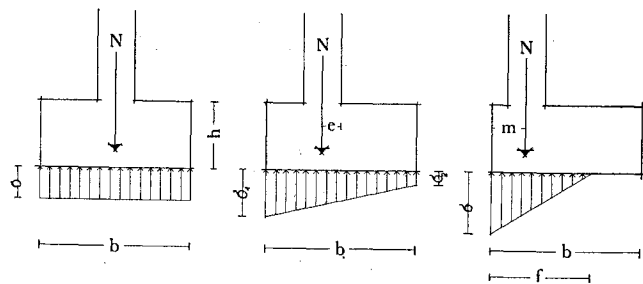


Fig. 5—6—7.

### Eksecentrisk belastede Fundamenter.

Lille Ekscentricitet.

Hvis  $N$  virker med en vis Ekscentricitet  $e$  (Fig. 6) faas Kantspændingerne af følgende Udtryk:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{aligned} \right\} = \frac{N}{F} \pm \frac{M}{W} = \frac{N}{bl} \left( 1 \pm \frac{6e}{b} \right).$$

Naar sidste Led i Parentesen er større end 1, d. v. s. naar  $e$  er større end  $\frac{b}{6}$ , vil den mindste Kantspænding være negativ,

og da Jorden ikke kan optage Trækspændinger, vil den benyttede Formel føre til et forkert Resultat. Man kan da beregne Spændingerne ved Anvendelse af følgende Ræsonnement: Resultanten af Spændingerne, der regnes at fordele sig retlinet efter den paa Fig. 7 viste Trekant, maa falde i samme Linie og være lige saa stor som  $N$ . Heraf følger, idet man da har  $f = 3m$ :

$$\frac{1}{2} \sigma \cdot 3m = N,$$

hvor  $l$  er Fundamentets Længde.

Heraf:

$$\sigma = \frac{2}{3} \frac{N}{ml}.$$

Hvis  $m$  er lille kan en ubetydelig Flytning af  $N$  fremkalde en procentvis stor Ændring i  $m$  og altsaa ogsaa i  $\sigma$ , der, som det ses, er omvendt proportional med  $m$ . Hvis  $m$  halveres, fordobles  $\sigma$ , og hvis  $m$  bliver lig 0 faas  $\sigma = \infty$ . Det er paa Grund af dette Forhold og fordi  $m$  i Almindelighed ikke er bestemt særlig nøjagtigt, at man, foruden at holde Maksimumspændingen passende lille, maa forlange en vis Sikkerhed, som tidligere nævnt mindst 1,5, mod Væltning.

Hvis der skal mures en Mur lige op til et Matrikelskel, maa man anbringe Fundamentet eensidigt. Beregning af et saadant Fundament kan foretages paa følgende Maade (smgl. Fig. 8).

Der regnes med at man har en ensformig Trykfordeling paa Jorden, d. v. s. Resultanten af Jordens Modtryk virker i Afstanden  $\frac{b}{2} - \frac{b_0}{2}$  fra Trykket  $N$ 's Virkningslinie. Paavirket af disse Kræfter kan Fundamentet imidlertid ikke være i Ligevægt, da det angribes af Momentet  $N \frac{b-b_0}{2}$ . Kun naar

## Almindelige Fundamenter.

Stor Ekscentricitet.

### Eensidige Fundamenter.

## Almindelige Fundamenter.

dette Moment ophæves af et ligesaa stort Moment med modsat Retning, kan der være Ligevægt. Hvis Etageadskillelsen

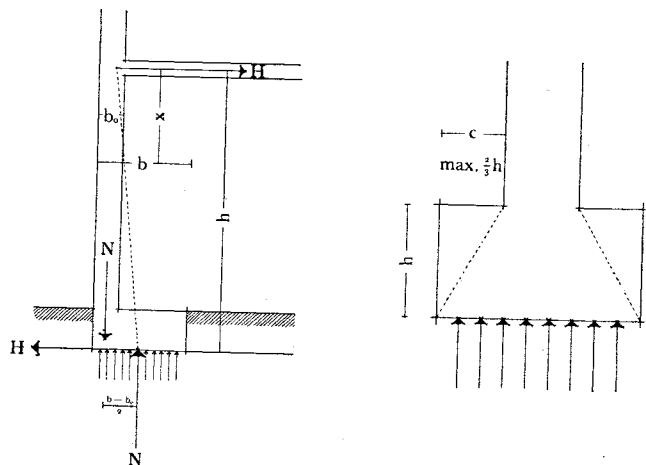


Fig. 8—9.

over nederste Etage og Fundamentet kan optage en vandret Kraft  $H$ , maa man have  $Hh = N \frac{b-b_0}{2}$ , hvoraf  $H = N \frac{b-b_0}{2h}$ .

I en Dybde  $x$  under Etageadskillelsen er der i Muren foruden et Normaltryk  $N$  et Moment af Størrelsen  $M = Hx$ .

Det er muligt at Trykket paa Jorden ikke fordeler sig ensformigt som forudsat. Der vil da være et Kanttryk paa Jorden, som er større end det jævnt fordelte Tryk, der er regnet med. Dette vil føre til en Overanstrengelse af Jorden under Fundamentskanten, der vil synke, hvorved hele Fundamentet drejer sig. En saadan Drejning vil imidlertid fremkalde et Træk i Etageadskillelsen, hvorved Fundamentet i sin Kant aflastes, og Reaktionsfordelingen nærmer sig den forudsatte.

I Fundamenter som det paa Fig. 9 viste vil der komme Bøjningspaavirkninger, der er størst i de to lodrette Snit som flugter med Siderne af Væggen. Naar den udragende Del  $c$  af Fundamentet ikke overstiger  $\frac{2}{3}$  af Fundamentets Højde  $h$ , regner man med, at Trykket fra Væggen fordeler sig skraat ned gennem Fundamentet, saadan at det ved dettes Under-

## Bøjning i Fundamenter.

kant er fordelt ud over hele Fundamentsfladen. Hvis  $c > \frac{2}{3}h$  maa der indlægges en Tværrmering og i saa Fald bør der af Hensyn til Rustfaren ikke anvendes for utæt Beton. Magrere Blandingsforhold end  $1:2\frac{1}{2}:3\frac{1}{2}$  kan ikke tilraades.

Da et Bygværks Fundament altid skal føres et Stykke ned under Jordoverfladen, mindst til frostfri Dybde, maa der i Reglen tilvejebringes en Byggegrube. Ved Udgravninger af mindre Omfang benyttes Haandudgravning, medens det ved større Udgravningsarbejder i Reglen betaler sig at anvende Maskine. Hvis Byggegruben kan staa med lodrette Vægge og man støber direkte mod Jord, vil baade Udgravnings- og Forskallingsarbejdet blive det mindst mulige. Naar det drejer sig om stærk kohæsiv Jord, f. Eks. fast Ler, kan en Jordvæg staa lodret i en Højde af 3—4 m eller mere. Men hvis der er Mulighed for farlige Skred, maa man naturligvis ikke løbe den mindste Risiko for at spare paa Afstivningen.

Naar Jorden ikke kan staa med lodret Væg, maa man enten forsyne Byggegruben med Indfatningsvægge til Afstivning af Jorden, eller man maa lade Byggegrubens Sider staa med en passende Skræntvinkel, der ved helt kohæsionsfri Jord højst kan være lig Friktionsvinklen.

I første Tilfælde maa der regnes med en ofte ret betydelig Udgift til Afstivning, i andet Tilfælde udgraves der en overflødig Jordmængde, som efter Støbningen maa paafyldes.

Til Indfatningsvægge benyttes oftest Trævægge, i fast tør Jord bestaaende af almindelige Planker, der i særlig fast Jord godt kan anbringes med Mellemrum af f. Eks.  $\frac{1}{2}$  m, i løsere eller vandholdig Jord af Planker med Fjer og Not. Disse tjener dels til Styring, idet en Pæl under Nedramningen har sin Not glidende i Nabopælens Fjer, dels til at skaffe den fornødne Tæthed i den færdigrammede Væg. (Fig. 10).

En Jernbeton Spunspæl, der som paa Fig. 11 er formet efter samme Princip som en Træpæl, benyttes næsten udelukkende i permanente Konstruktioner, medens Trævægge i Reglen er interimistiske.

Jernspunsvægge, hvoraf der er vist et Par Typer paa

## Almindelige Fundamenter.

### Arbejdets Udførelse.

### Indfatningsvægge.

Træ.

Jernbeton.

Jern.

## Almindelige Fundamenter.

Fig. 12, er forsynet med en særlig Fals, der skaffer bedre Styling og større Tæthed, end det er Tilfældet for Trævægge. I haard og stenet Grund er Jernspunspælene med deres ringe Tværnsnit og haarde Materiale langt lettere at ramme end Træ- eller Jernbetonpæle. Jernenes Bølgeform skyldes Ønsket om at faa størst muligt Inertimoment om

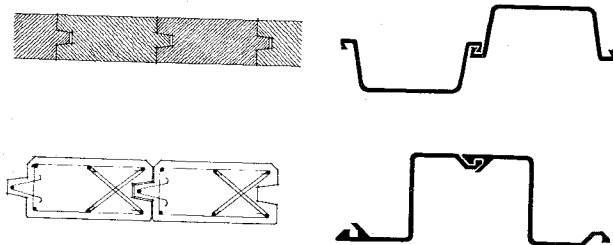


Fig. 10—11—12.

Tyngdepunktsaksen, d. v. s. størst mulig Bøjningsmodstand i Retningen vinkelret paa Væggen. Jernspunsvægge benyttes baade i permanente og i interimistiske Konstruktioner.

Spunsvægge maa paa en eller anden Maade afstives f. Eks. som antydnet med punkteret Streg paa Fig. 4. Hvis Byggegruben ikke er for bred, kan man afstive to modsatte Vægge mod hinanden med Bjælker af Træ eller Staal.

Naar Grunden er vandfyldt, maa der pumpes under Udgravningsarbejdet. Dersom der findes Flydesand paa Stedet, maa man, hvis der ligger Bygninger i Nærheden, sikre sig mod, at Sandet fra Nabogrundene flyder ud i Byggegruben.

Hvis Udgravningens Bund er meget vaad og optraadt, kan det være nødvendigt før Støbningen at udlægge et Bundlag f. Eks. af Grus eller Grovbeton.

Skal man sikre en Bygning's Kældergulve mod indtrængende Fugtighed, kan man først udstøbe et 8—10 cm tykt Lag Nøddestens-Grovbeton, hvorpaa der lægges et eller to Lag Isoleringfilt, som en sammenhængende Maatte, uigennemtrængelig for Vand. Ovenpaa lægges et 2—3 cm Mørtel-lag til Beskyttelse af Isoleringen, og naar dette Lag er bundet tilstrækkeligt af, kan Armeringsarbejdet paabegyndes. I Ste-

Vandfyldt Grund.

Tætte Kældergulve.

det for Mørtel kan afdækkes med Tagpap. Isoleringsmaat-terne maa føres uden for Bygningen og bøjes op, saa der kan opnaas tæt Forbindelse med Vægisolationen.

Naar en Nybygning skal opføres umiddelbart opad en eksisterende Bygning, maa de to Bygningers Fundamenter og Mure adskilles f. Eks. ved Tagpap, Isolationsmaatter eller lignende. I modsat Fald risikerer man, at den ny Mur under Opmuringen efterhaanden som dens Fundament under den voksende Vægt sætter sig, trækker den gamle Mur med sig ned. Trods denne Sikkerhedsforanstaltning er det dog ikke udelukket, at Nabohuset synker, idet Jorden under den ny Murs Fundamenter trykker sig sammen og derved let frembringer en Sætning af Jorden under Nabofundamentet.

Man bør derfor altid gøre Bygherren opmærksom paa dette Forhold og eventuelt i sit Overslag have en Post til Reparation af Nabohusene.

Hvis en Nybygning's Fundamenter skal føres længere ned end til Underkanten af Nabohusets Fundament, maa der foretages en Undermuring eller Understøbning af Nabohuset.

For ikke at risikere at Jorden under de gamle Fundamenter skrider, graver man ud paa korte Strækninger ad Gangen langs disse Fundamenter, der efterhaanden fjernes og erstattes af ny, der støbes i samme Dybde som den kommende Bygning's Fundamenter. Man murer eller støber derefter en ny Mur op til den gamle. For at hindre, at den gamle Mur synker ned under sin oprindelige Stilling, naar dens Vægt overføres til det ny Fundament, som derved i Almindelighed vil sætte sig, kan Muren kiles op, saaledes at Undermuringen kan udføres med Overhøjde.

Naar der skal funderes paa en Grund, hvor man ikke kan naa de bæredygtige Jordlag ved Udgravning, eller naar de ligger saa dybt, at Fundamenterne bliver uforholdsmæssige store, kan Pælefundering benyttes.

I Almindelighed overfører en Pæl sin Belastning til Jorden

## Almindelige Fundamenter.

Fundering af Bygning opad eksisterende Hus.

Undermuring af gamle Huse.

## Pælefundering.

## Pælefundering.

Pæle til fast Bund.

Friktionspæle.

Pælematerialet.

dels gennem Pælespiden og dels paa Grund af Friktionen gennem Pælens Sider. I udprægede Tilfælde taler man om »Pæle til fast Bund«, Pæle der er ført gennem bløde Jordlag og som staar med Spidsen paa haard Bund, og »Friktionspæle«, der staaende paa en »bundløs« Grund udelukkende overfører sin Belastning gennem Friktionen langs Siderne.

Pæle udføres af Træ og Jernbeton, sjældnere af Staal. Træpæle kan kun anvendes, naar de altid er dækket af Vand, da de ellers raadner. I mange Tilfælde er der sket Skader fordi Vandstanden efterhaanden er sunket ned under Pæletoppene, f. Eks. paa Grund af en Dræning. Hvis en saadan Vandstandssænkning kan forudses, maa Træpæle selvfølgelig ikke benyttes.

Jernbetonpæle kan ikke uden videre anvendes i Jord med Humussyre, da denne angriber Betonen. I saadan Jord kan Pælen beskyttes f. Eks. med en Asfaltkappe, der dog let beskadiges under Arbejdet med Pælens Anbringelse.

Normalt bringes en Pæl paa sin Plads i Jorden ved Nedramning. Hertil benyttes en Rambuk, der bestaar af et Stillads, hvori en tung Vægt af Jern, Ramklodsen, kan hejses op. Pælen anbringes under Ramklodsen, som man skiftevis hejser op og lader falde ned paa Pælens Top.

Til at beregne en Pæls Bæreevne paa Grundlag af de Observationer, der foretages under Nedramningen, har man opstillet en Mængde Formler.

I de danske Normer for Fundering anføres følgende Formel, der kan benyttes ved sædvanlige mindre Konstruktioner:

$$P_{\text{till}} = k \frac{Q^2 h}{Q + q e},$$

hvor

$P_{\text{till}}$  = Pælens tilladelige Bæreevne i t.

$Q$  = Ramklodsens Vægt i t.

$q$  = Pælens Vægt i t.

$h$  = Faldhøjden i cm.

$e$  = Pælens Nedsynkning i cm pr. Slag, bestemt som Gennemsnit af de sidste 10 Slag.

$k$  er en Erfaringskoefficient, der rummer Sikkerhedsgraden i sig, og som kan sættes til  $\frac{1}{4}$  under Forudsætning af, at  $Q \geq q$ , og at Ramklodsen falder frit. Hvis Ramklodsen glider langs en Styreskinne, kan  $k$  i Almindelighed sættes til  $\frac{1}{5}$ .

Formlens Brugbarhed er betinget af følgende Forhold: At Pælen rammes i sandholdig Bund (dog ikke Flydesand, se herom nedenfor), at Nedsynkning pr. Slag ikke er meget forskellig før og efter en Rammepause paa mindst 10 Timer, og Nedsynkningen pr. Slag ikke er mindre end 0,75 cm.

For leret vandholdig Byggegrund er Nedsynkningen under Ramning ikke noget godt Maal for Pælens Bæreevne, idet Friktionen mellem Jord og Pæl under dennes Nedramning kan formindskes betydeligt, fordi Vandet i den Jord, der skal fortrænges, ikke hurtigt kan presses ind i de omliggende finporede Jordlag, saaledes at der omkring Pælen danner sig et Vandlag. Hvis Ramningen genoptages efter nogen Tids Forløb, er Vandet sivet bort, og den sædvanlige Friktion mellem Pæl og Jord er da til Stede. Det har vist sig, at Nedsynkningen ved Genoptagelse af Ramning efter en Pause paa nogle Dage kan være 5—10 Gange saa lille som Nedsynkningen ved Ramningens Afslutning før Pausen.

Det maa derfor anbefales ved sandfri Byggegrund at bestemme Pælens Bæreevne ved en Prøvebelastning, naar det drejer sig om et ikke helt lille Bygværk.

Den maksimale Paavirkning i en Træpæl af Fyr eller Gran kan normalt sættes til 35 kg/cm<sup>2</sup>, medens en Jernbetonpæls Spænding fastsættes i Overensstemmelse med de i Jernbetonnormerne angivne Værdier svarende til centralt Tryk. For Beton med Brudstyrke 300 kg/cm<sup>2</sup> er den tilladelige Spænding 50 kg/cm<sup>2</sup>. Afstanden mellem Pælens Akser bør i Reglen mindst være 1,5 til 2 Gange Pæletykkelsen ved Pæle til fast Bund. Ved Friktionspæle maa Afstanden i Almindelighed gøres større.

Hvis Pælen overalt er omgivet af Jord, er der ingen Ud-bøjningsfare, da selv en blød Jord er i Stand til at hindre, at den bøjer ud som en Søjle.

## Pælefundering.

## Pælefunde- ring.

For at udnytte Materialet i en Pæl fuldt ud, rammes den i Reglen saa langt ned, at dens Bæreevne, bestemt af Rammeformlen, mindst svarer til de ovenfor nævnte maksimale Trykspændinger.

### Pæle paavirket til Træk.

Undertiden bliver Pæle paavirket af en opadrettet Kraft. I Reglen kan der optages et vist Træk, ofte regnes med 0,1—0,3 kg pr. cm<sup>2</sup> af Omkredsen. Jordbundens Beskaffenhed er naturligvis afgørende.

### Paavirkning i Pælehoved.

Under Nedramningen bliver Pælehovedet let knust. Man kan for at undgaa Knusning anvende en Paasætter, ogsaa kaldet en Rammeged, der er et Stykke haardt Tømmer, som anbringes oven paa Pælen. Eller man kan simpelthen benytte et Lag Sække som Mellemlag.

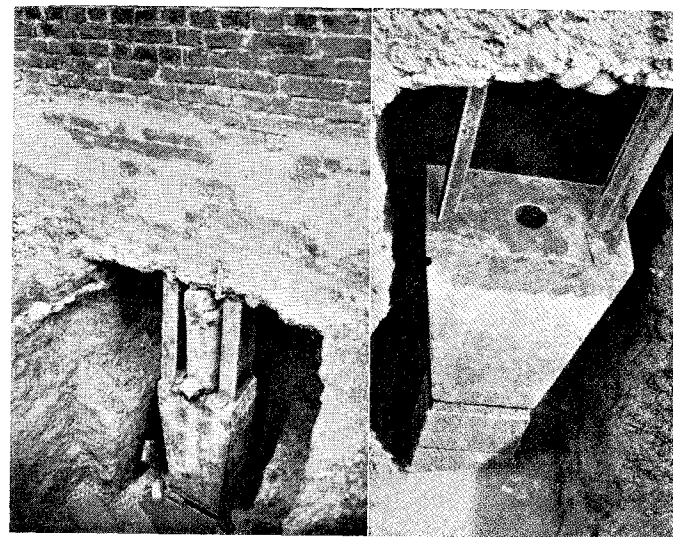
Et stort Ramslag med lille Faldhøjde er at foretrække for et lille Ramslag med stor Faldhøjde. Selvom Pælen i begge Tilfælde bliver drevet lige langt ned, vil det lille Ramslag i langt højere Grad end det store kunne ødelægge Pælehovedet. Man ser derfor ofte, at en mindste Ramslagsvægt er foreskrevet.

### Nedskylning af Pæle.

Gennem Flydesand er det saa at sige umuligt at ramme, idet Materialet er usammentrykkeligt og den Sandmængde som Pælen fortrænger kan derfor ikke rummes i det Lag som omgiver Pælen men skal skydes helt op til Overfladen, hvilket ikke lader sig gøre, naar Pælen er rammet et Stykke ned. Under Ramningen opdages det meget hurtigt, hvornaar dette Stadium er naaet, idet Ramslaget da »danser« paa Pælen uden at denne rører sig. Man kan i saa Fald føre et Skyllerør ned langs Pælen, hvorved Materialet, der skal fortrænges opslemmes i Skyllevandet og føres op med dette. Det kan være fordelagtigt at omgive Pælen med et Foringsrør, hvori Skyllevandet frit kan ledes til Overfladen.

### Pæle støbt paa Plads.

I særlige Tilfælde støber man Pæle paa deres endelige Plads, idet man fører et Rør ned i Jorden, f. Eks. ved at belaste det samtidig med at man drejer det. Efter at have fjernet Jorden i Røret, udfylder man det med Beton, idet man under Støbningen efterhaanden trækker det op, hvorefter Røret er klar til næste Pæl.



## Pælefunde- ring.

Fig. 13.

Denne Metode og Nedskylningsmetoden er især fordelagtig at benytte, naar det drejer sig om Pilotering i eller umiddelbart i Nærheden af et færdigt Bygværk, idet man undgaaer de Rystelser som en Nedramning medfører, og som kan paavirke de omgivende Mure.

Hvis der er Tale om at anbringe Pæle under bestaaende Fundamenter, som i Tidens Løb har vist for store Sætninger, kan man trykke Pælene ned, idet man ved Hjælp af en hydraulisk Donkraft fra smaa Udgravninger under Fundamentet nedpresser Pæle, der sammensættes af mindre Elementer, som anbringes ovenpaa hinanden. Forbindelsen mellem Elementerne sikres, idet hvert Element er forsynet med en langsgaaende Kanal, hvorigennem Pælen kan armeres.

Paa Fig. 13 ses en Udgravning under et Fundament. Til venstre en Pæl under Nedpresning. Donkraften er spændt op imod Fundamentets Underkant saaledes at Fundamentet yder den Reaktion som er nødvendig til Nedpresningen. Til højre er alle Elementer bragt paa Plads, ogsaa Topstykket hvis Bredde foroven er noget større end de øvrige Pælestyk-

### Nedpresning af Pæle.

## Pælefundering.

### Rystelser ved Ramning.

kers. Naar Arbejdet er saa vidt, føres et Par Rundjern ned i Kanalen, der tilstøbes med Cementmørtel, og tilsidst udfyldes Rummet mellem Topstykket og Fundamentet med Beton.

Naar man foretrækker at ramme, selvom der findes Bygninger i Nærheden, kan det anbefales paa Forhaand at syne Bygningerne og gøre opmærksom paa de Revner der findes, saaledes at man efter endt Ramning ikke kan være i Tvivl om disse Revners Alder. I særlige Tilfælde har man foretaget en Fotografering af Nabobygningens Revner før Ramningen.

### Gavlbjælker.

Hvis man skal fundere en Nybygning lige opad en eksisterende Bygning, som daarligt taaler Ramning i sin Nærhed, vil det i visse Tilfælde være fordelagtigt at lade Nybygningens Gavl bære som Bjælke mellem de to Facademures Fundamenter. Disse bæres af Pæle, der kan holdes i en vis Afstand fra Gavlen. Fundamenterne maa derfor bære Gavluren paa en overragende Ende. Fundamentsbjælkerne skal naturligvis armeres, hvilket iøvrigt næsten altid er nødvendigt for Fundamenter, der understøttes paa Pæle, da Bøjningsmomenter ikke kan undgaas, fordi Pælene angriber i enkelte Punkter.

### Beregning af Pæletryk.

*En udførlig Fremstilling af Pæleberegninger findes hos Chr. Nøckentved: Beregning af Pæleværker, København 1924.*

*Pæle paavirkede af lodrette Kræfter.*

En Pælegruppes Beregning foretages som en Spændingsbestemmelse, idet man først skønsmæssigt, efter Erfaring, har bestemt Pælernes Antal og Placering, hvorefter man undersøger om Spændingen i nogen Pæl overstiger den tilladelige. Hvis dette er Tilfældet maa en ny Pælegruppe skønnes og undersøges.

Naar der kun virker lodrette Kræfter paa et Fundament rammes alle Pæle som Lodpæle. Hvis disse kan rammes centralt under Kraften, d. v. s. saadan at deres Tyngdepunktslinie falder i Kraftlinien, kan Belastningen simpelthen fordeles jævnt over Pælene.

Hvis Kraften derimod virker ekscentrisk i Forhold til Pæletyngdepunktslinien vil Pælene blive uens paavirkede. For et Fundament, der er understøttet af to Rækker Pæle hver indeholdende  $m$  Pæle, kan Beregningen af største Pæletryk foretages som beskrevet i det følgende.

Den lodrette Kraft  $Q$ , der virker i Afstanden  $e$  fra Pælemidtlinien, se Fig. 14, kan flyttes til Midtlinien, naar man samtidig tilføjer et Moment  $M = Q \cdot e$ . Vi betragter Virkningen af den centrale Kraft  $Q$  og af Momentet  $M$  hver for sig.

Den centrale Kraft alene fordeler sig jævnt over alle Pælene, Trykket pr. Pæl bliver altsaa

$$P = \frac{Q}{2m}.$$

Momentet alene maa holdes i Ligevægt af to lige store, modsat rettede Kræfter i de to Pælerækker, Tryk i den ene

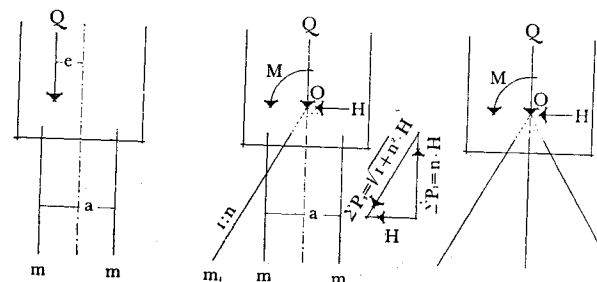


Fig. 14—15—16.

Række, Træk i den anden. Man faar derfor Pælekraften  $P$  bestemt af følgende Momentligning:

$$Pma = \pm Qe = \pm M$$

$$P = \pm \frac{M}{ma}.$$

Det resulterende Pæletryk bliver

$$P = \frac{Q}{2m} \pm \frac{M}{ma}.$$

Hvis et Fundament foruden af en lodret Kraft er paavirket af en vandret Kraft, bør man i Almindelighed ogsaa anbringe Skraapæle, da en Pæl i det væsentlige kun er egnet til at optage Kræfter i sin Længderetning. Vi vil her nøjes med at betragte et simpelt Tilfælde, hvor alle Skraapæle (Antal  $m_1$ )

*Pæle paavirkede af skraa Kræfter.*



## Pælefundering.

er rammet i een Række. (Fig. 15). Hældningen regnes at være  $\frac{1}{n}$ , d. v. s. Pælens Stigning paa en vandret Strækning af Længden 1 er  $n$ .

De angribende Kræfter  $Q$  og  $H$  tænkes flyttet hen til Skæringspunktet  $O$  mellem Skraapæleretningen og Lodpælens Midtlinie, hvorved der fremkommer et Moment  $M$ . Vi ser nu paa Virkningen af de tre Kræfter  $Q$ ,  $H$  og  $M$  hver for sig. Tryk i Lodpæle og Skraapæle betegnes henholdsvis ved  $P_l$  og  $P_s$ .  $Q$  alene fordeler sig jævnt over alle Lodpæle:

$$P_l = \frac{Q}{2m} \quad P_s = 0.$$

$H$  opløses som vist paa Fig. 15 efter Skraapæleretningen og en lodret Linie og man finder, idet  $\sum P_l = 2mP_l$  og  $\sum P_s = m_1P_s$ :

$$P_l = -\frac{nH}{2m} \quad P_s = \frac{H}{m_1} \sqrt{1+n^2}.$$

$M$  optages som Træk og Tryk i Lodpælene og giver ikke nogen Kraft i Skraapælene, hvilket indses, naar man tager Moment om  $O$ :  $P_l m a = \pm M$ ; hele Momentet optages altsaa af Lodpælene. Man faar derfor:

$$P_l = \pm \frac{M}{ma} \quad P_s = 0.$$

Ialt findes

$$P_l = \frac{Q}{2m} - H \frac{n}{2m} \pm \frac{M}{ma} \quad P_s = H \frac{\sqrt{1+n^2}}{m_1}.$$

Hvis alle Pæle under et Fundament skærer samme vandrette Linie, er Drejning om denne mulig, uden at der fremkaldes Tryk i Pælene, og Fundamentet er da kun stabilt, dersom Pælene kan optage Sidekræfter uden at knække og uden at skære sig igennem Jorden. For Fundamentet i Fig. 16 skal det ydre Moment  $M$  i Ligevægtstilstanden holdes i

*Bevægelige  
Pælegrupper.*

Ligevægt af Pælekræfternes Moment, og da dette er Nul omkring  $O$ , maa Fundamentet altsaa dreje sig. Det er muligt at Pælene ved Bøjning kan optage Momentet, saa Drejningen standses, men da det i alle Tilfælde er en mindre tiltalende Maade at faa optaget Momentet paa, fordi Bøjningsstivheden er lille i Forhold til Trykstyrken, bør man saa vidt mulig undgaa saadanne »bevægelige Pælegrupper«.

Af de opstillede Formler ses det, at Pæetrykket i Skraapælene bliver større, jo større  $n$  er. Det mindste Antal nødvendige Pæle findes derfor, naar  $n$  er saa lille som mulig, d. v. s. naar Hældningen er størst mulig. Imidlertid fordyres Rammearbejdet med voksende Hældning, saa det betaler sig næppe at anvende større Hældning end 1:3 og i hvert Fald aldrig større end 1:2½.

Undertiden kan det være fordelagtigt i Stedet for en Pilotering at foretage Funderingen ved Hjælp af Sænkebrønde. Herved undgaar man de Rystelser, som en Nedramning vil føre med sig.

En Sænkebrønd bestaar af et cylindrisk Rør i Reglen af Jernbeton. Diameteren maa være saa stor, at man kan arbejde i det. Røret, der fra Begyndelsen kun har en ganske lille Længde, bringes ved sin Egenvægt eventuelt i Forbindelse med en Belastning ned i Jorden, idet man graver ud inden i det. Efterhaanden som det er ved at forsvinde under Jorden, støbes Væggen op. Eller man kan anvende Brøndringe, idet man anbringer den ene ovenpaa den anden, efterhaanden som Brønden ved den indvendige Udgravning bringes til at synke. Naar fast Bund er naaet udstøbes hele Røret med Beton.

Ved dybere Udgravninger kan Vandet, der i Bunden af Udgravningen er underkastet et Tryk, trænge ind i Sænkebrønden. For at hindre dette kan man anbringe en tæt Bund i Røret et Stykke fra dets nederste Kant, hvorved der fremkommer et Arbejdskammer, som kan holdes under Tryk, der er saa stort, at Vandet ikke kan trænge ind i

## Pælefundering.

### Specielle Funderingsmetoder.

#### Sænkebrønde.

*Aaben Sænkebrønd.*

*Sænkebrønd med  
Trykluftskammer.*

## Specielle Funderingsmetoder.

### Pladefundering.

Rummet. Mandskab og Materiel maa befordres i en Kanal, der foroven ender i en Trykluftssluse. Denne Metode benyttes især ved større specielle Bygværker, f. Eks. ved Bropiller.

Naar Grunden er daarlig, uden at det dog viser sig nødvendigt at pilotere, kan Fundamentterne blive saa store, at de næsten støder sammen. Der kan da blive Tale om at benytte Pladefundering, d. v. s. udforme hele Kældergulvet som Fundamentsplade. Man maa her sørge for, at der er en vis Stivhed i hele Systemet, saaledes at Bygningen sætter sig som en Helhed, hvorved Revnedannelser, der hovedsagelig hidrører fra lokale Sætninger, undgaas. Man bør derfor for det første gøre Fundamentspladen rigelig tyk, selvom den beregningsmæssigt maaske kun behøver en ringe Tykkelse, og for det andet udforme Kældermurene som et stift System uden gennemgaaende Aabninger. Saaledes maa ingen Dør-aabning naa helt op til Kældermurens Overkant, der bør bevares et passende Stykke Kældermur over hver Aabning.

Foruden de nævnte Metoder til Fundering paa daarlig Grund skal nedenfor omtales endnu nogle Fremgangsmaader, som under forskellige Forhold kan være fordelagtige at benytte.

### Tilfyldning med Sand.

Ved at anbringe en Sand- eller Grusvold paa den bløde Bund, komprimeres denne, hvorved Bæreevnen stiger samtidig med, at der bliver Plads til et Sand- eller Gruslag, hvorpaa der direkte funderes, efter at overskydende Materiale er fjernet. Volden bør gøres noget bredere end Fundamentet, saaledes at Belastningen herigennem kan fordele sig ud til Siderne over et større Areal end selve Fundamentsfladen.

Hvis Jorden er meget blød, eller hvis den som f. Eks. Tørvejord indeholder organiske Stoffer, bør man bortgrave den og fylde efter med Sand eller Grus.

### Forstening.

Ved løst aflejrede Sandlag kan man *forstene* Bunden ved at indføre Cementvælling i den. Denne presses under Anvendelse af Trykluft ud i Sandets Porer gennem et perforeret Rør, der rammes ned i Jorden.

Ved finere Sandbund kan der i Sandets Porer tilføres

først en Kiselsyreopløsning, f. Eks. Natronvandglas, der bagefter udfældes med en svag Syre som f. Eks. en Klorcalciumopløsning. Tilførslen sker som ovenfor gennem et perforeret Rør. For hver halve Meter Røret rammes ned, tilføres Kiselsyreopløsning. Naar det er kommet ned i tilstrækkelig Dybde, renses Røret omhyggeligt, og man tilfører nu Klorcalciumopløsning for hver halve Meter Røret optrækkes. Paa denne Maade kan Jorden forstenes idet Kiselsyren udfylder Porene og kitter Sandkornene sammen.

Forsteningen finder Sted indenfor en Cylinder omkring Røret med en Diameter paa  $\frac{1}{2}$  Meter eller lidt mere. For at faa en fuldkommen Forstening overalt i det paagældende Areal maa Røret altsaa føres ned i Punkter med denne Afstand.

Metoden er bl. a. anvendt ved Forstærkning af Sandbunden under et Parti af Ribe Domkirke.

## Specielle Funderingsmetoder.

*Grundforstærkning under Ribe Domkirke.*

## JERNBETONKONSTRUKTIONER

### Materialet.

*En Oversigt over nyere Resultater inden for Jernbetonforskningen er givet i Anker Englund: Brobygning, København 1945. Se ogsaa E. Suenson: Jernbeton, København 1931.*

I Jernbeton udnyttes Betonens betydelige Trykstyrke, medens dens ringe Styrke overfor Træk kompenseres af Armeringens Evne til at modstaa disse Paavirkninger.

Jernbeton, der først i dette Aarhundrede har opnaaet Udbredelse, har aabnet en Mængde ny Konstruktionsmuligheder baade i Husbygning og paa andre Omraader. Dets Evne til at indordne sig under de Krav, der stilles til et Bygværk, er fremragende. Ved Konstruktioner i Træ og Staal er man i langt højere Grad bundet af de rent konstruktive Hensyn.

Jernbetons Styrke er betydelig, men dog i Reglen ikke større end Træs, saaledes at Dimensionerne i almindelige Konstruktionselementer som Bjælker og Søjler ikke adskiller sig væsentligt fra hinanden, hvad enten de udføres i Træ eller i Jernbeton. Jernbeton er dog stivere end Træ. Under ens Forhold bliver en Jernbetonbjælkes elastiske Nedbøjning ca. 3 Gange mindre end en Træbjælkes.

De danske Normer fastsætter, at man for almindeligt Staal med Trækbrudgrænse  $3700 \text{ kg/cm}^2$  under almindelige Belastningsforhold kan sætte den tilladelige Spænding til

$$r_j = 1300 \text{ kg/cm}^2.$$

For den tilladelige Bøjningstrykspænding  $r_b$  i Betonen gælder

$$\begin{aligned} r_b &= 0,25 \sigma_b & \text{for } \sigma_b \leq 300 \text{ kg/cm}^2 \\ r_b &= 75 + 0,18(\sigma_b - 300) & \text{for } \sigma_b \geq 300 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

$\sigma_b$  er Betonens Bøjningsbrudstyrke.

Almindeligst benyttes Beton med  $\sigma_b = 300 \text{ kg/cm}^2$ , hvortil der, som det ses, svarer

$$r_b = 75 \text{ kg/cm}^2.$$

I Forhold til Træ og Staal indebærer Jernbeton mange Fordele i sig. En Jernbetonbygning har en monolitisk Karakter, der giver en fast Sammenhæng i hele Konstruktionen, og som medfører en Stivhed, der er værdifuld f. Eks. for Bygninger, som fra Maskiner er paavirket af Rystelser. I Egne, der er udsat for Jordskælv, er Jernbeton det sikreste Bygningsmateriale.

Jernbetons formdannende Evne er værdifuld. Rumlige Konstruktioner, Kupler o. lign., kan udføres som en Enhed, uden at det altid er nødvendigt at opløse i et System af Bjælker og Plader.

Jernbeton er et bestandigt Materiale, forudsat at væsentlig Revnedannelse er hindret ved en passende Armering. Det behøver ikke som Træ og Staal at overfladebehandles ved Maling el. lign. Vedligeholdelsesudgifterne bliver derfor smaa.

Mod Brand er Jernbeton særlig modstandsdygtig. Til offentlige Lokaler, Biografer, Koncertsale o. lign., hvor Bygningsmyndighederne mange Steder foreskriver specielle Forholdsregler over for Træ og Staal, f. Eks. Omstøbning af Staalprofiler med Beton, falder det naturligt at anvende Jernbeton. Det har ved Forsøg vist sig, at Jernbeton i længere Tid har kunnet modstaa en Lufttemperatur paa  $1100^\circ$ , der vil faa Træ til at staa i lys Lue, medens Staal ved denne Varmegrad vil blive blødt og næsten helt miste sin Bæreevne.

Overfor Luftlyd, d. v. s. Lyd, der udgaar fra en Lydgiver, der ikke er direkte i Forbindelse med Jernbetonen, f. Eks. Tale og Musik, er Jernbeton meget isolerende, idet Isoleringsevnen er afhængig af Væggens eller Etageadskillelsens Lufttæthed og af dens Vægt og Stivhed.

Naturligvis er Jernbeton ogsaa behæftet med visse Mangler. Overfor Bankelyd, d. v. s. direkte Paavirkning paa Jernbetonen, er den daarligt isolerende, saaledes at det er nødvendigt at træffe særlige Foranstaltninger herimod, f. Eks.

### Materialet.

#### Forskellige Fordele ved Jernbeton.

*En sammenhængende Konstruktion.*

*Formdannende Evne.*

*Stor Bestandighed.*

*Betydelig Brand-sikkerhed.*

*God Isolering mod Luftlyd.*

#### Forskellige Mangler ved Jernbeton.

*Ring Isolering mod Bankelyd.*

## Materialet.

ved Indretning af »svømmende Gulve«, der udføres ved paa Jernbetondækket at anbringe en Isoleringsmaatte, der overstøbes med en tynd Jernbetonplade i Reglen 4—6 cm, som heller ikke langs Væggene er i direkte Kontakt med den øvrige Konstruktion.

*Ringe Varmeisoleringssevne.*

En Jernbetonplades Varmeisoleringssevne er ringe, og det er nødvendigt at anbringe Isoleringsplader for at faa tilsvarende Varmeisoleringssevne som i Murstenshuse med Træbjælkelaag.

*Ændringer besværlige at foretage.*

Gennembrydninger og i det hele taget Ændringer i en færdigbygget Jernbetonkonstruktion er ulige vanskeligere at foretage end i en Træ- eller Staalkonstruktion. Det er derfor vigtigt at Ledningsførelsen paa Forhaand er fuldstændig planlagt, saaledes at der under Støbningen kan udspares de nødvendige Huller.

*Svind.*

Svindet, som altid finder Sted i en Betonkonstruktion, kan fremkalde en uheldig Revnedannelse. Ved Hjælp af en passende Armering og eventuelt ved Indlæggelse af Fuger, Dilatationsfuger, er det dog muligt helt at undgaa grove Revner.

*Krybning.*

En Ulempe ved Jernbeton er dens store plastiske Eftervirkning. Selvom Styrken er tilfredsstillende, vil en Konstruktion under vedvarende Belastning faa plastiske d. v. s. blivende Nedsynkninger. Dette Fænomen, der kaldes Betonens Krybning, og som kan vedvare i Aarevis, selvom Nedsynkningen ganske vist bliver langsommere med Tiden, kan være overordentlig generende. F. Eks. kan Vinduesbrystninger, der er udformet som Jernbetonbjælker, synke saa meget, at de sprænger Vinduesglassene, og en Loftplade, der hænger, virker i hvert Fald fra et æstetisk Synspunkt utiltalende.

Det har vist sig, at en Bjælkes eller Plades Nedbøjning under uheldige Forhold kan blive 3 à 4 Gange saa stor som de elastiske Nedbøjninger, der bestemmes ved Hjælp af den almindelige Elasticitetsteori.

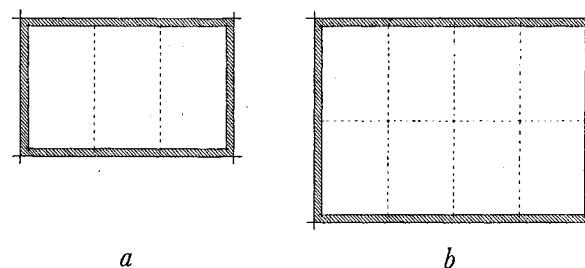
Krybningen kan formindskes ved Anvendelse af særlig stærk Beton og ved at lade Forskallingen staa længst mulig,

da det navnlig er i den første Tid efter Støbningen, at Krybning er betydelig. I specielle Tilfælde har man ladet Forskallingen staa 3—4 Maaneder. Krybningens Virkning kan kompenseres ved at give Plader og Bjælker Oprunding.

Effektiv Kontrol under Udførelsen er nødvendig. En forkert anbragt Armering kan faa katastrofale Følger, og der er Mulighed for Fejltagelser. I en simpelt understøttet Plade skal Armeringen som bekendt lægges i Undersiden, medens den i en udkraget Plade, f. Eks. i en Altanplade, skal anbringes i Oversiden.

Som Etageadskillelser indgaar Jernbeton, ikke alene i Bygninger, der helt er udført i dette Materiale, men ogsaa i Huse med Murstensvægge. I Sammenligning med et Træbjælkelaag ligger en Jernbetonetageadskillelser Fordel især i den store Stivhed (smaa Rystelser), Brandsikkerhed og Vandtæthed, og hvis der er Tale om meget store Belastninger, f. Eks. fra Maskiner, er man anderledes frit stillet med Jernbeton, end med Træbjælkelaag, der maa udføres med tætliggende Understøtninger. Her kan naturligvis ogsaa benyttes Staalbjælker. Herom mere senere.

Den traditionelle Udformning af en Etageadskillelse, som den kendes fra Træbjælkelaag (Fig. 17a): Bjælker der spænder



mellem to Mure, og som bærer Dækket, er ogsaa i Jernbeton en almindelig Løsning. Afstanden mellem Jernbetonbjælkerne er dog i Reglen større end Træbjælkernes Afstand, som maa tilpasses efter Gulvbræddernes Bæreevne, hyppigt 3—4 m, hvis Belastningen ikke er særlig stor.

## Materialet.

*Effektiv Kontrol.*

## Etageadskillelser.

**Bjælkesystemer med enkeltarmrede Plader.**

Fig. 17.

## Etageadskillelser.

Ved større Bjækelængder bliver Anordningen i Fig. 17a uhensigtsmæssig, idet Bjælkerne bliver for svære, og det kan da betale sig at skaffe en Mellemunderstøtning til Veje ved Hjælp af en Drager anbragt som paa Fig. 17b.

Hvis Spændvidden paa den korte Led ikke er altfor stor, f. Eks. omkring 4 m, og Belastningen ikke er usædvanlig, foretrækker man ofte at lægge en Plade fra Mur til Mur uden Bjælker, selvom Konstruktionen muligvis bliver lidt dyrere, da man derved faar et fuldstændigt plant Loft i Rummet under Etageadskillelsen, hvorved man ved Ruminddelingen staar anderledes frit, end hvis man skal tage Hensyn til en bestemt Bjælkeinddeling.

### Bjælkesystemer med krydsarmerede Plader.

Hvis Rummets Dimensioner er store, kan der være Tale om at lægge mange Dragere og eventuelt understøtte dem med Søjler. Felterne mellem et Bjælkesystem vil i Reglen være nogenlunde kvadratiske, og det er da naturligt at benytte krydsarmerede Plader. Paa Fig. 18 ses et normalt Bjælkeloft, medens Fig. 19 viser en Etageadskillelse med meget svær Belastning (Maskiner), hvor Pladernes Spændvidder er blevet meget stærkt begrænset gennem Anvendelse af et System af tætliggende Bjælker.

### Krydsarmerede Plader kontra enkeltarmerede.

De bøjende Momenter i en krydsarmeret Plade er langt mindre end i en enkeltarmeret Plade med samme Spændvidde. F. Eks. er Maksimalmomentet i en kvadratisk krydsarmeret Plade med ensformig fordelt Belastning kun  $\frac{1}{3}$  af største Moment i Pladen som enkeltarmeret, saaledes at Højden (Tykkelsen), der er proportional med Kvadratroden af Momentet, kun behøver at være  $\frac{1}{\sqrt{3}} = 0,58$  af den enkeltspændte Plades. Man kan herved naa op paa ret store Spændvidder, f. Eks. 6—8 m, med rimelige Pladetykkelser.

### Kontinuerlige Plader.

Jernbetonplader er sjældent simpelt understøttede, men vil oftest fortsætte kontinuert henover Bjælker eller Mellemure (Fig. 17—19). Over Understøtningerne er Momentet negativt, der er Træk i Oversiden, og man maa derfor sørge for at bøje en Del af de Jern, der i Midten af Faget ligger i

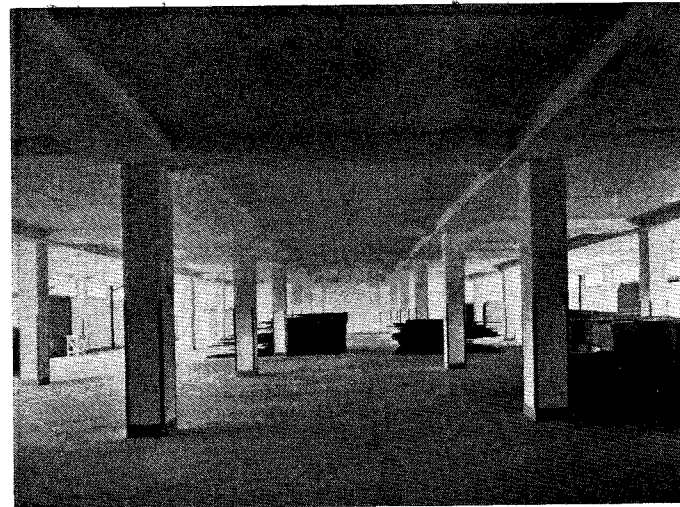


Fig. 18.

Pladens Underside, op i Oversiden. I Almindelighed bøjes Halvdelen eller to Trediedele af Jernene op.

Hvis en Plade med lille Spændvidde er placeret mellem Plader med større Spændvidder, kan man risikere, at der kommer negative Momenter i hele det lille Fag,

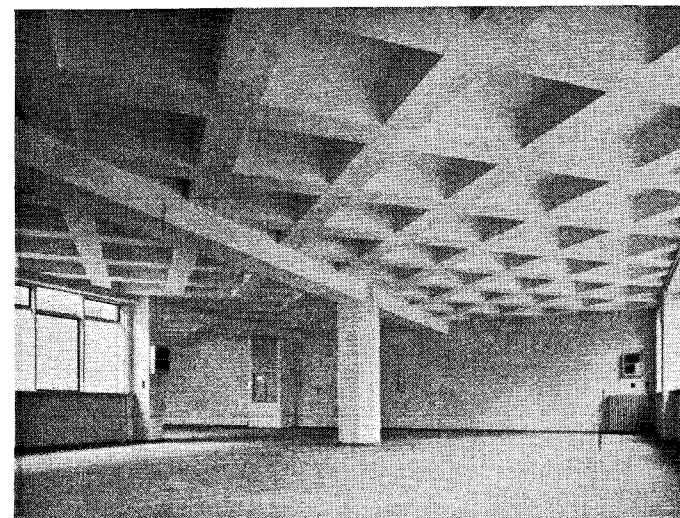


Fig. 19.

## Etagead- skillelser.

Princippet  
delvis  
Indspænding.

og der maa i saa Fald føres Overjern helt igennem Faget.

For kontinuerlige Plader og Bjælker, regner man i Almindelighed med *delvis Indspænding*, idet man benytter sig af Jernbetonens plastiske Egenskaber.

Lad os betragte en Bjælke, der er ensformig belastet og fuldstændig indspændt i begge Ender, og som er lige stærkt armeret i Over- og Underside henholdsvis i Fagets Midte og ved Indspændingerne. Momentkurven, vil som vist i Fig. 20, bestaa af en Parabel med Pilhøjde  $M_0 = \frac{1}{8}pl^2$ ,

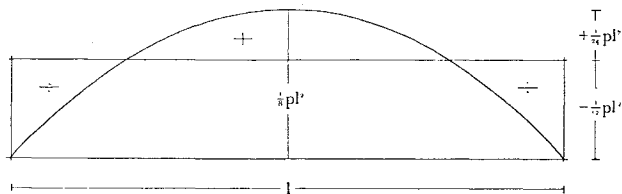


Fig. 20.

svarende til Momentkurven for en simpelt understøttet Bjælke, samt af en Momentlinie, Slutlinien, i Højden  $\frac{1}{2}pl^2$ , stammende fra Indspændingsmomenterne, og ud fra hvilken Momenterne skal maales. Momentet i Midten bliver altsaa  $\frac{1}{8}pl^2 - \frac{1}{16}pl^2 = \frac{1}{16}pl^2$ , medens det største Moment  $-\frac{1}{16}pl^2$  optræder i Indspændingstværsnittene.

Hvis Bjælken belastes med en jævnt voksende Belastning  $p$ , vil Momentet ved Indspændingerne, der som nævnt er det største i Bjælken, for en bestemt Værdi af  $p$  være blevet saa stort, at Jernet flyder. Herved sker der en Drejning af Bjælken ved Indspændingerne, Bjælken opfører sig altsaa, som om den ikke er fuldstændig indspændt. Da Spændingen i Jernet under Flydningen holder sig konstant, kan Bjælken ikke ved Indspændingerne optage større Moment end det, der fandtes umiddelbart før Flydningens Begyndelse. Momentet paa Midten vokser derimod stadig under den stigende Belastning. Det indses, at Bjælken ikke vil falde ned, før Jernet ogsaa i Midten begynder at flyde, d. v. s. først naar Momentet her har naaet den Størrelse, som svarer til Flydning, og som i Forvejen fandtes ved Indspændingerne, er

Bjælkens Bæreevne udtømt. Man ser, at de to Momenter bliver lige store (numerisk), naar Slutliniens Højde er lig  $\frac{1}{16}pl^2$ , idet Momentet paa Midten da faar samme Værdi:  $\frac{1}{8}pl^2 - \frac{1}{16}pl^2 = \frac{1}{16}pl^2$ .

Indspændingstværsnittene behøver altsaa slet ikke at kunne optage det Moment ( $-\frac{1}{16}pl^2$ ), som findes efter en statisk Beregning. Hvis der kun kan optages en Brøkdel af dette Moment, indlægges Slutlinien blot i Overensstemmelse hermed, og Bjælken vil da have den fornødne Styrke, blot man sikrer sig, at Midtværsnittet kan optage det resterende Moment.

I de danske Normer foreskrives det, at man inden for visse Grænser kan skønne et Indspændingsmoment eller — naar det drejer sig om kontinuerlige Plader eller Bjælker — et Understøtningsmoment, der naturligvis aldrig maa være større end det, der findes ved en statisk Beregning. Man maa derefter sikre sig, at det positive Moment paa Midten kan optages, selvom Slutlinien kun lægges i en Højde svarende til  $\frac{2}{3}$  Gange det skønnede Understøtningsmoment.

En Jernbetonbjælke, der, som vist paa Fig. 17—19, understøtter en Plade, danner sammen med denne en T-Bjælke (Fig. 21), hvor Pladen i Reglen optager Trykket, medens selve Bjælkekroppen bl. a. har den Funktion at rumme Trækjernet. Den mest økonomiske Bjælkehøjde ligger omkring  $\frac{1}{10}$  Gange Spændvidden, men den kan iøvrigt varieres inden for vide Grænser. I visse Tilfælde, hvor man har ønsket en plan Underside, er Bjælkearmeringen anbragt i selve Pladen (skjult Bjælke, Fig. 22) men Ordningen er i Reglen uøkonomisk, da en væsentlig Del af Betonen ligger i Træksiden og derfor ikke udnyttes. Hvis Spændvidden ikke er for stor, vil man som tidligere nævnt ofte foretrække at undgaa Bjælker og lade Pladen være bærende for at faa en plan Underside. Hvis Kravet om en plan Underside skal opfyldes i en Konstruktion som vist i Fig. 21, maa man nedforskalle under Bjælkerne, som antydnet med punkteret Streg. En anden Konstruktion med plant Loft er vist i Fig. 23, hvor Bjælkerne er T-Bjælker med Pladen fornedet. Bjælkerne maa da i Reglen gøres ret brede, da Pladerne ikke

## Etagead- skillelser.

### T-Bjælker.

Jernbetondæk  
med plan Under-  
side.

## Etageadskillelser.

for positive Momenter kan fungere som Trykhoved. Imellem Bjælkerne kan der udstøbes varmeisolerende Letbeton, eller man kan, som vist i Fig. 23, lægge løse Overplader af Letbeton, der eventuelt understøttes mellem Bjælkerne af Murstensvanger. Konstruktionerne i Fig. 21, 22 og 23 maa udover den viste Bjælkearmring forsynes med en Armering i Pladerne.

### Forskellige Patentdæk.

Formetadæk.

Om Patentdæk, se »Beton-Teknik« 1940 Nr. 1 og 2.

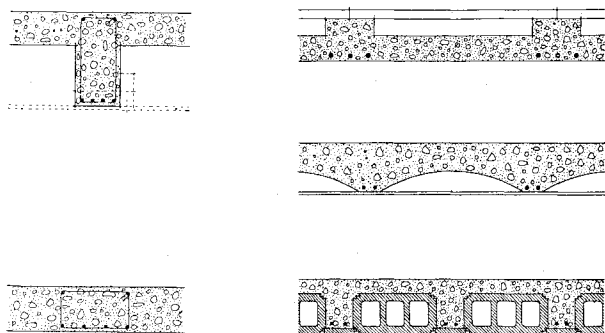


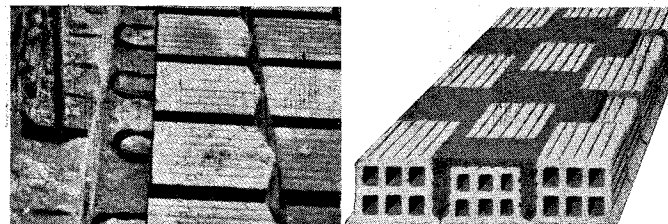
Fig. 21-22-23-24-25.

man opnaar altsaa et plant Loft, samtidig med at overflødig Beton i Træksiden spares. Hulrummene har Betydning for Dækkenes varmeisolerende Evne.

En T-Bjælke Konstruktion skaffes undertiden plan Underside, ved at udfylde Rummet mellem Pladen og den vandrette Plan gennem Bjælkens Underside med et eller andet Materiale, der samtidig forøger Isoleringsevnen over for Lyd og Varme. Dette Princip er Grundlaget for mange Patentdæk, de saakaldte Hulstensdæk.

Fig. 25 viser Snit i et Dæk, hvor Hulstenen er udført af Moler, som er meget varmeisolerende. I Sperledæk (Fig. 26), hvor Hulstenen bestaar af haardtbrændt Ler eller af Beton, findes der ingen Betonplade, Trykket optages her af selve Hulstenen. Da man ikke kan regne med, at Blokkene vil ligge fuldstændig fast an mod hinanden, er en kontinuerlig

Molerdæk.  
Sperledæk.



## Etageadskillelser.

Fig. 26—27.

Røselerdæk.

Trykside sikret ved Udstøbning af et Melletrum mellem de enkelte Blokke. I Røselerdæk (Fig. 27) er der ved Udformning af Tryksiden udstøbt Beton over hveranden Blok, der er et Par cm lavere end de øvrige Blokke, hvorved der sikres en vis Sammenhæng i hele Dækket. Der findes i Handelen adskillige Patentdæk i Lighed med de her nævnte, f. Eks. Baumadæk, Lindsdæk, Skandiadæk.

Saadanne Dæk kan ofte med Fordel benyttes i Stedet for Træbjælkelag, men naar det drejer sig om Dæk uden Overplade af Beton, kan de ikke altid erstatte Jernbetondæk, idet de ikke saa godt som disse kan overføre Vindtryk og andre vandrette Kræfter til stive lodrette Elementer i Huset, som kan føre Kræfterne videre til Grunden. Hulstensdækkene egner sig heller ikke til at fordele en Belastning, f. Eks. fra Skillerum, i Tværetningen.

I Forbindelse med Hulstensdæk skal her nævnes Jernbetonovenlys, der i Princippet er opbygget som Hulstensdæk, se Fig. 28a. Betonglassene, der er firkantede eller runde med Tværsnit som f. Eks. vist i Fig. 28b, kan optage samme Trykspændinger som Betonen. Da de er hule i Undersiden, kan de ikke optage Tryk her og maa derfor ikke indlægges paa Steder, hvor der kan optræde negative Momenter. Fig. 29 viser Jernbetonovenlyset i et Ridehus i Klampenborg.

Jernbetonovenlys.

Ovenlys i Ridehus i Klampenborg.

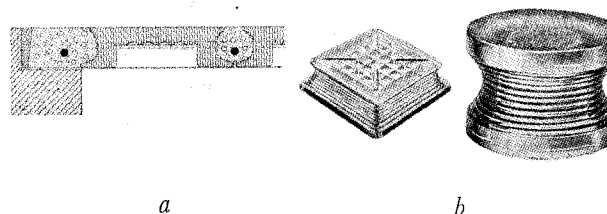


Fig. 28.

## Etageadskillelser.

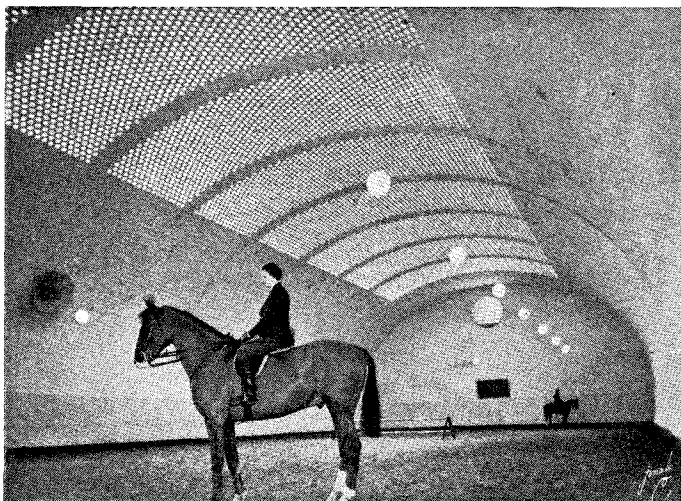


Fig. 29.

## Ledninger i Etageadskillelser.

Elektriske Ledninger o. lign. kan lægges i Hulstendækkenes Kanaler, men man foretrækker dog tit at indstøbe dem i Overbetonen, hvis et saadant Lag findes. I et almindeligt Jernbetondæk indstøbes Ledningerne almindeligvis i selve Dækket.

## Straalevarme.

Her skal i denne Forbindelse kort omtales Straalevarmesystemet, som i de senere Aar med den stigende Anvendelse af Jernbetondæk har vundet nogen Udbredelse. Gennem et System af Metalrør (Fig. 30), som er anbragt i Etageadskil-

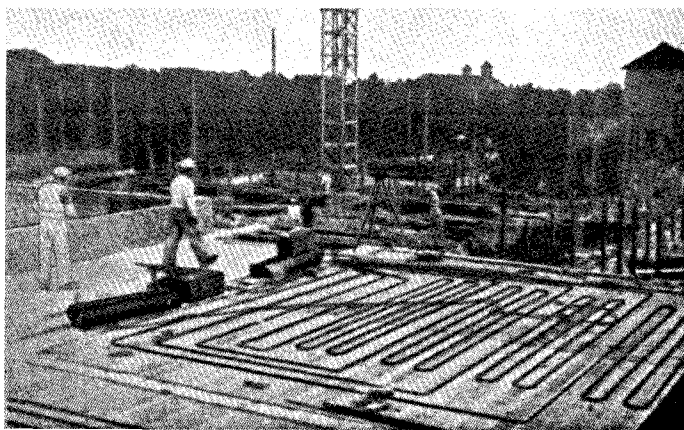


Fig. 30.

lensens Underside, ledes varmt Vand, hvorved Etageadskillelsens nederste Del opvarmes, og afgiver Varme til det underliggende Rum. Det viser sig, at man i Almindelighed kan nøjes med en Vandtemperatur paa  $30^{\circ}$ — $40^{\circ}$ . Ved Opvarmning og den deraf følgende Udvidelse af Dækkene opstaar der en vis Fare for Revnedannelse. De forløbne Aars Erfaring synes dog at vise, at Revnedannelsen ikke er saa udpræget, at den ligefrem er skadelig.

Rørene bør lægges saa yderligt i Pladens Underside som muligt, under Armeringen, som dermed kommer højere op i Pladen end normalt, saaledes at man for at faa samme Nyttethøjde maa forøge Pladetykkelsen. For at undgaa dette og samtidig udnytte Rørenes mekaniske Styrke, har man forsøgt at anvende Rørene som Armering. Dette er dog ikke i Almindelighed tilladt her i Landet.

I Stedet for at opbygge Forskalling og støbe paa Stedet, kan man anvende Elementer, der er støbt paa Fabrik, og som direkte kan oplægges. Som et Eksempel kan nævnes K. H. Bjælker, der er udformet som lave Betongitterdragere med stigende og faldende Diagonaler (Fig. 31). Bjælkerne, der lægges tæt ved Siden af hinanden, saa de danner en Flade, maa forsynes med et isolerende Lag, i det mindste med en Betonudstøbning, for at sikre mod Lydgennemgang og for i det hele taget at faa dannet en sammenhængende Gulvflade.

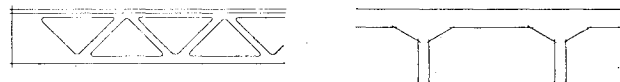


Fig. 31—32.

Princippet: Færdigstøbte Elementer har utvivlsomt en Fremtid for sig. Jernbeton forædles stadig, saaledes at en vis Styrke kan opnaas med mindre Brug af Jern og Cement. Og Forædlingen foretages ofte ved Metoder, der ikke saa let lader sig anvende paa en Arbejdsplads, men som egner sig til en standardiseret Massefremstilling paa en Fabrik. Her kan f. Eks. nævnes Fremstilling af Strengbeton, hvis Armering bestaar af Staalstreng. Da det er muligt at fremstille Staal med meget høj Flydegrænse — henved 10 Gange den nor-

Strengbeton.

## Etageadskillelser.

## Færdigstøbte Elementer.



## Etageadskillelser.

Se K. W. Johansen:  
Strengbeton.  
»Bygningsstatistiske  
Meddelelser« 1939/40  
S. 22.

## Bjælker med Skraaninger.

male — naar det udtrækkes til Traade, forstaar man, at Jernbesparelsen kan være overordentlig stor.

Hvis man uden videre udnyttede den meget høje til-ladelige Staalspænding vilde Betonen omkring Armeringen revne meget stærkt under den store Paavirkning. Man giver derfor før Udstøbningen Traadene en Forspænding, og naar Betonen er størknet, klippes de over, hvorved de søger at trække sig sammen, d. v. s. den omkringliggende Beton bliver trykket. Naar Betonen i Træksiden saaledes paa Forhaand er paavirket til Tryk, vil de Trækspændinger, der opstaar under en Belastning, maaske slet ikke være store nok til at udligne de oprindelige Trykspændinger, d. v. s. Bjælken vil ikke i noget Punkt være paavirket til Træk.

Hvis en T-Bjælke fortsætter kontinuert over en eller flere Understøtninger, kan det være hensigtsmæssigt at for-syne den med Skraaninger over Understøtningerne (Fig. 32) for derved at skaffe en større Bjælkehøjde paa dette Sted, hvor Bjælken, da Undersiden er Trykside, ikke har nogen Plade til Hjælp som Trykhoved. Af æstetiske Grunde søger man dog tit at undgaa Skraaninger, hvilket ofte er muligt, naar man dimensionerer efter det tidligere omtalte Princip »delvis Indspænding«. Anbringelse af Jern i Tryksiden (Tryk-jern) kan ogsaa formindske Bjælkehøjden.

## Udkragede Bjælker.

I udkragede Bjælker, Konsolbjælker, er der Træk i Oversiden og Tryk i Undersiden, d. v. s. med den normale T-Bjælke-Konstruktion, hvor Bjælken ligger under Pladen, er denne uden Virkning. Hvis det er muligt, bør man derfor anbringe Pla-den i Undersiden, saa den kan benyttes som Trykplade. Paa denne Maade kan man uden at faa urimelig svære Konstruk-tioner naa op paa betydelige Spændvidder. Som Eksempel kan nævnes det store Tribunetag (Fig. 33), som i Rio de Janeiro er udført af et dansk Firma, og hvor Udhængen er over 22 m.

Tribunetag i  
Rio de Janeiro.

## Bærende Vægge.

En Jernbetonvæg, der ikke kan føres helt ned til Jorden uden at være til Gene for Ruminddelingen i de nederste Etager, kan, hvis den i Enderne er understøttet af Vægge eller Søjler, i sig selv bære som Bjælke. Hvis den ikke er gennembrudt af Aabninger, er den overordentlig stiv og

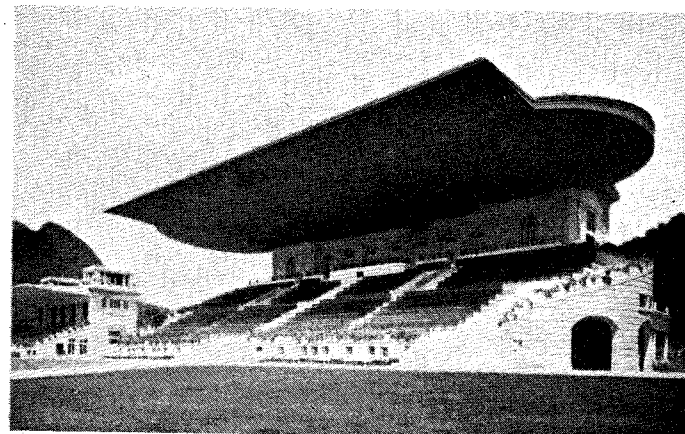


Fig. 33.

kan med sin store Bjælkehøjde bære en betydelig Belastning. Selvom der findes Døraabninger i Væggen, vil der dog i Reglen altid være Højde nok over Døren til, at Væggen efter Anbringelse af ekstra Armering omkring Aabningen kan benyttes som bærende Bjælke ogsaa i de Tilfælde, hvor Væggen kun findes i en enkelt Etage og skal bære Etage-pladerne, der støder til foroven og forned.

Den paa Fig. 34 viste Forbindelsesbro bæres af Sidevæggene.

Bro mellem Bygninger  
i Obels Fabrik,  
Aalborg.

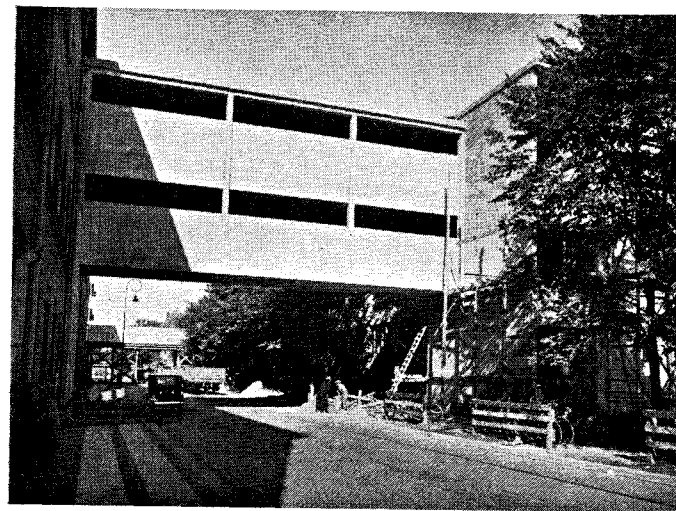


Fig. 34.

## Søjler.

### Centralt belastede Søjler.

#### Beregning.

En ganske kort Søjle, der er paavirket af en Trykkraft, gaar i Stykker, naar Trykket er saa stort, at Materialet knuses. Som bekendt vil en slank Søjle brydes, før dette Punkt er naaet, idet den for et mindre Tryk, det kritiske, vil bøje ud til Siden.

En rektangulær centralt belastet Betonsøjles Tværnsnitsareal  $F(\text{cm}^2)$ , kan med god Tilnærmelse findes af følgende Formel:  $F = \frac{5}{4} \frac{P}{r_b \cdot k}$ , hvor  $r_b$  er den paa S. 36 og 37 opgivne Bøjningstrykspænding ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ),  $P$  (kg) Belastningen, medens  $k$  afhænger af Forholdet mellem Søjleens mindste Sidelinie  $a$  (cm) og Søjleens Længde  $L$  (m). I nedenstaaende Tabel findes  $k$  for nogle sammenhørende Værdier af  $a$  og  $L$ .

$L$ (m) \ $a$ (cm)	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
15	0,89	0,82	0,75	0,68	0,61	0,54	0,49	0,43
20	0,94	0,89	0,89	0,79	0,73	0,68	0,62	0,57
30	0,97	0,95	0,92	0,89	0,86	0,83	0,79	0,75
40	0,99	0,97	0,96	0,99	0,92	0,89	0,87	0,84

### Ekscentrisk belastede Søjler.

Søjler, der er belastet til Tryk, og som tillige paa en eller anden Maade er paavirket af et Moment, f. Eks. fra en ekscentrisk anbragt Belastning, er særlig farligt belastet, idet Trykket forøger den Udbøjning, som fremkaldes af

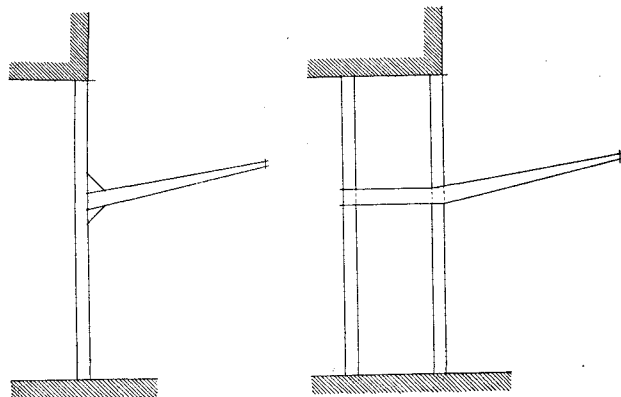


Fig. 35—36.

Momentet. Det er derfor af Betydning, at der ikke kommer Bøjningspaavirkninger i en Søjle, hvis det lige saa godt kan udgaas ved f. Eks. at anbringe den centralt under Belastningen.

Der er naturligvis ikke noget i Vejen for, at en Søjle kan tage baade Tryk og Bøjning, naar den blot er dimensioneret for disse Paavirkninger. Ofte lader man en Søjle optage Vindtryk, der dog i Reglen er en ringe Belastning i Forhold til Søjletrykket.

Hvis en Konsolbjælke udkrages direkte fra en Søjle som vist paa Fig. 35, kan der fremkomme betydelige Bøjnings-

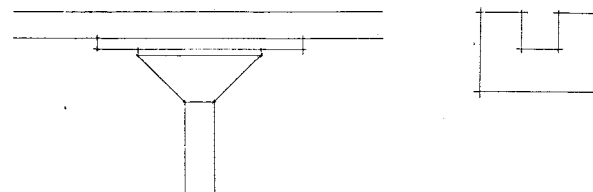


Fig. 37—38.

momenter i den. Bedre er den paa Fig. 36 viste Ordning, hvor Konsolbjælken understøttes af to Søjler, som kun paavirkes til Tryk eller Træk.

Det kan næsten altid betale sig at indskyde Søjler som Mellemlunderstøtninger under Bjælker, der ellers vil faa stor Spændvidde. Hvis der ikke maa placeres Søjler i Rummet under Etageadskillelsen, kan Søjlerne muligvis anbringes over, Bjælkerne er da ophængt i Søjlerne. I saadanne Hængesøjler, hvori der kommer Træk, maa Armeringen alene kunne bære Belastningen.

En Etageadskillelises Plade kan understøttes direkte af Søjler, Paddehatsøjler, uden Bjælker som Mellemlid, naar Søjlen i Toppen »bredes ud«, saaledes at Understøtningsfladen bliver større end Søjletværsnittet. Denne Fremgangsmaade, der særlig har været udbredt i Amerika, har i de senere Aar vundet Indpas her i Landet. Nyere Undersøgelser har godtgjort, at Metoden i mange Tilfælde er mere rationel end den traditionelle Plade-Bjælke-Søjle Metode.

En Paddehatsøjle udføres med Kapital foroven som

## Søjler.

### Hængesøjler.

### Paddehatsøjler.

## Søjler.



Fig. 39.

vist paa Fig. 37, og i Reglen er der imellem Kapitæl og Etageplade indskudt en Underplade, en Pude, der tjener som Fortykkelse af Pladen, som skal kunne optage de store negative Momenter, der optræder lige omkring Søjlerne. Ofte er Pladetykkelsen dog saa stor, at Pudens kan undværes.

Man undgaar altsaa helt Bjælker, der i Reglen fra et æstetisk Synspunkt er uheldige. Til Gengæld har man Kapitælerne, der ved en Ruminddeling maaske nok kan volde visse Vanskeligheder. I et Rum der ikke opdeles, som det der eksempelvis ses paa Fig. 39, kan man vel næppe være generet af Kapitælerne.

### Søjler med Ledninger.

Ledninger til Afløb fra Tag føres undertiden ned igennem Søjler der er støbt omkring Røret. En mere tiltalende Ordning er den i Fig. 38 viste, hvor Ledningerne lægges i en Niche i Søjlen, saaledes at man kan efterse og i givet Fald reparere dem. Nichen kan eventuelt afdækkes med en Plade, der dog let bør kunne fjernes.

## Jernbetonskelethuse.

Mange Bygninger, især Fabriker, Forretningsejendomme o. lign. kan ofte fordelagtigt udføres i Jernbeton som Jernbetonskelethuse med Udfyldninger af Mur eller med alle Vægge støbt. Der skal i det følgende fremføres nogle af Jernbetonens Fordele i Husbygningen. En Staaletskelet-

bygning har i mange Henseender tilsvarende Fordele, saa Valget vil ofte komme til at staa mellem Jernbeton og Staal.

a. Da man kan tillade et Tryk i Jernbeton paa  $60 \text{ kg/cm}^2$  eller mere, medens det tilladelige Murtryk almindeligvis kun er  $8 \text{ kg/cm}^2$ , bliver murede bærende Vægge adskilligt tykkere end støbte Vægge eller støbte Piller med Udfyldning og tager derfor en langt større Del af det effektive Grundareal. Ganske vist kræver en tynd Jernbetonvæg et isolerende Lag, men den samlede Tykkelse bliver alligevel, naar det drejer sig om en flereetages Bygning, langt mindre end den tilsvarende Murtykkelse, som er fastsat i Byggeloven, der iøvrigt i Reglen angiver rigelige Dimensioner, da de naturligvis maa fastsættes saaledes, at de er tilstrækkelige i de ugunstigste Tilfælde.

b. I en muret Facade skal sædvanligvis mindst en Trediedel af Facadelængden være Mur. Ved Udformning af Vinduesarealerne er man altsaa bundet af dette Krav, hvilket kan være højst generende. Især i Forretningsejendomme, hvor man i nederste Etage ofte, naar der findes Butikker, ønsker gennemgaaende Vinduesrækker afbrudt af det mindst mulige Pilleareal, vil Brugen af Jernbeton være fordelagtig, idet Udstrækningen af den bærende Del af Facaden vil kunne reduceres betydeligt. Det er endog muligt helt at undgaa Afbrydelser, idet Søjlerne kan trækkes tilbage fra Facaden. Herom senere.

c. I et muret Hus skal der i Almindelighed findes mindst et Tværskillerum for hver 15 m til Afstivning af Ydermurene. I et Jernbetonhus er Stabiliteten i Reglen sikret paa anden Maade f. Eks. ved den Stivhed, der findes i et System bestaaende af Ydermurenes Piller i Forbindelse med Etageadskillelserne.

d. Hvis en Bygningens Udformning udelukkende skal dikteres af de Krav der stilles til Bygningens Funktion, uden at det skal være nødvendigt at lade rent konstruktive Hensyn raade, vil det i specielle Bygninger undertiden være umuligt at anvende en Murstenskonstruktion. Jernbeton er

## Jernbetonskelethuse.

### Jernbeton kontra Murværk.

## Jernbeton-skelethuse.

### Jernbetonens Anvendelses-omraade.

derimod i Stand til næsten ubegrænset at føje sig efter Brugskravene.

Jernbetons Anvendelsesomraade indenfor Husbygningen bestemmes i det store Hele af Økonomien. I de Tilfælde, hvor Jernbeton er billigere end andre Løsninger, kan der næppe være nogen Tvivl. I andre Tilfælde, og de er utvivlsomt de hyppigste, er Jernbeton ikke billigst, men medfører til Gengæld en Række Fordele, og Spørgsmaalet er da blot det: Opvejer Merudgiften de vundne Goder. Sagen stiller sig forskelligt for forskellige Bygninger.

#### Industrielle Bygninger.

1. *Industrielle Bygninger.* Disse er i saa høj Grad funktionsbestemte, at det i mange Tilfælde vil være en Selvfølge, at Jernbeton med sin Evne til at indordne sig under Brugskravene bliver det foretrukne Materiale. I andre Tilfælde kræver det naturligvis nærmere Overvejelse, om det kan betale sig at anvende Jernbeton.

#### Specielle Bygninger.

2. I *specielle Bygninger* som Tennishaller, Kuppelbygninger o. lign. er det ofte naturligt at anvende Jernbeton, og naar disse Bygninger kan udformes som Skalkonstruktioner, er Jernbeton, der ikke som andre Materialer behøver at opdeles i plane Elementer, næsten selvskrevet.

#### Forretnings- og Kontorbygninger.

3. *Forretnings- og Kontorbygninger.* Her skal man ofte, efterhaanden som Behovet ændrer sig, kunne foretage Ændringer i Ruminddelingen. Indvendige lette Skillerum i et Jernbetonhus kan i Reglen uden videre flyttes, man kan i hvert Fald altid dimensionere Etageadskillelserne, saa det kan lade sig gøre. I et muret Hus er Anbringelsen af Skillerum i højere Grad bundet af Reglen om Tværskillerum for hver 15 m, af Bjælkernes Placering og af Placeringen af de Skillerum, som findes i Etagerne nedenunder.

Hertil kommer, at der ofte, i hvert Fald i offentlige Bygninger, er samlet et stort Antal Mennesker, saaledes at det har Betydning eller ligefrem kræves, at Etageadskillelserne er brandfri.

I Bygninger som de her nævnte vil Jernbeton derfor ofte med Fordel kunne benyttes.

#### Boligkarreer.

4. *Boligkarreer.* Der er ingen Tvivl om, at Jernbeton her

kan byde mange Fordele. For det første vil Jernbeton for Tale, Radiomusik m. m. give en udmærket lydtæt Adskillelse mellem de forskellige Lejligheder. Disse bliver selvstændige Enheder, brandsikkert adskilt fra hinanden. Adskillelsen mellem de enkelte Værelser i en Lejlighed kan foretages med lette Skillerum, der uden alt for meget Besvær kan flyttes, hvis det f. Eks. ved ny Lejemaal er ønskeligt. Jernbetonens store Ledningsevne overfor Bankelyd kan modarbejdes ved en passende Isolering paa Vægge, Gulve og Trapper. Paa dette Punkt har man i moderne Husbyggeri ofte syndet, det er ikke fri for, at et Jernbetonhus har faaet Ord for at være »lydt«.

Med Hensyn til Økonomien kan det siges, at et Jernbeton-Etagehus, navnlig naar Isoleringen skal være effektiv, utvivlsomt vil være dyrere end et muret Hus med Træbjækelag, og det er et Spørgsmaal, om man i Almindelighed kan faa Folk til at betale de Goder, der følger med Jernbeton. Lejen for en moderne Lejlighed med dens kostbare Installationer m. m. kan i Forvejen synes temmelig betydelig.

4. *Villaer.* Her gælder det i endnu højere Grad end for Karrébygninger, at et Jernbetonhus bliver dyrere end et muret Hus, og det er sikkert de færreste, der vil finde tilstrækkelig Kompensation for Merudgiften.

I et Jernbetonskelethus skal udelukkende Skeletkonstruktionen være bærende, Udfyldningsmurværket maa ikke medregnes. Denne Bestemmelse er truffet, fordi der er en vis Risiko for, at man ved eventuelle Ændringer af Bygningen vil rive Udfyldningsmurværket ned uden Tanke paa, om det er bærende eller ej.

Man maa derfor dimensionere Skelettet, saa det kan optage alle Paavirkninger, eller paa anden Maade sørge for, at disse kan optages. Da Skelettet i sig selv ofte er daarligt egnet til at optage vandrette Kræfter, f. Eks. fra Vind, foretrakkes det ofte at anbringe Jernbetonvægge, der iøvrigt ogsaa af andre Grunde kan være hensigtsmæssige f. Eks. omkring Toiletpartier, Elevator- og Trappeskakte.

## Jernbeton-skelethuse.

#### Villaer.

#### Udfyldningsvægge af Murværk.

## Jernbeton-skelethuse.

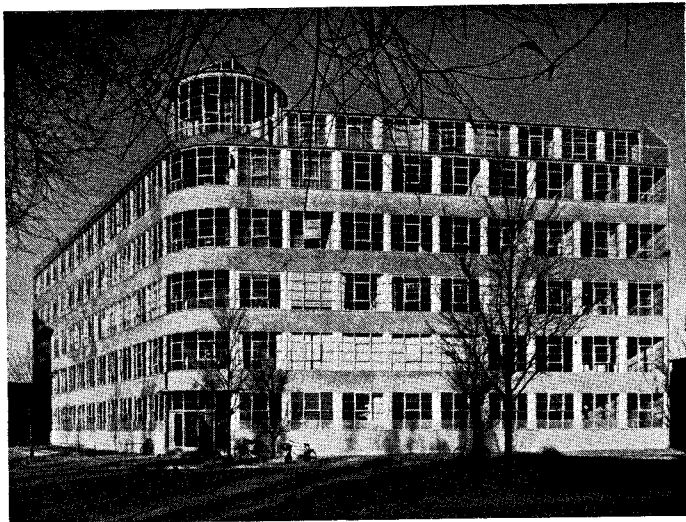


Fig. 40.

### Vinduesbrystningerne bærende.

Industrigaarden paa  
Finsensvej, København.

Den simpleste Anordning af en Bygnings Facade faas, naar Brystningerne udformes som Bjælker, der understøttes af Søjler. I Reglen er Brystningerne saa høje og stive, at de kan bære deres Belastning uden eller næsten uden nogen Forøgelse af den Armering, de i alle Tilfælde skulde have, i hvert Fald naar Søjleafstanden ikke er over 6—8 m. Udført af Jernbeton vilde Brystningerne paa Fig. 40 saa at sige bære af sig selv.

Hvis man armerer Brystningsbjælkerne kraftigt, kan man, uden at forøge Dimensionerne, naa op paa store Søjleafstande, saaledes at man faar lange gennemgaaende Vinduesfelter. Som Eksempel kan nævnes Administrationsbygningerne i Radiohuset paa Rosenørns Allé i København, som er vist paa Fig. 41, 42 og 43. Brystningsbjælkerne, der

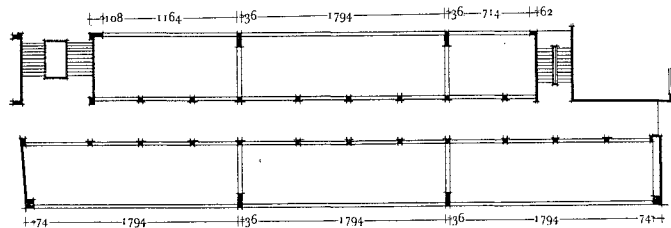


Fig. 41.

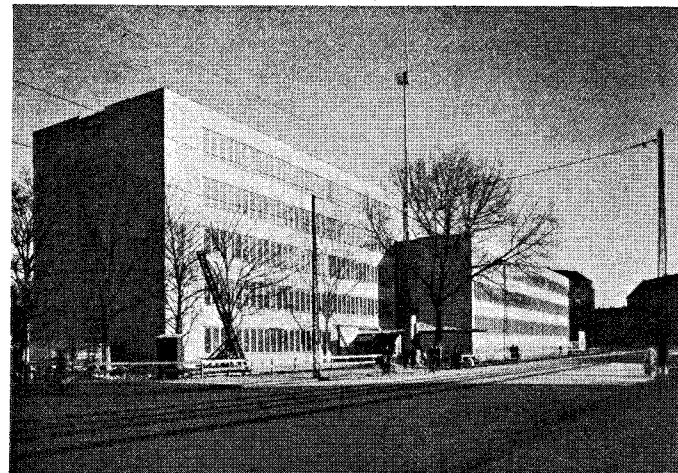


Fig. 42.

Facadekonstruktion i  
Radiohuset.

her er 1,59 m høje og 0,25 m brede, bærer frit paa en Strækning af ca. 18 m. Mellemsøjlerne er udført som Tværmure, der kun fylder 30 cm i Facaden. Disse Tværmure er ikke gennemgaaende i hele Husets Bredde, men er forsynet med saa store Aabninger, at Friheden i Ruminddelingen ikke er særlig bundet deraf.

Svarende til Facadens Søjler og Brystninger anbringes i Almindelighed indvendige Søjlerækker med Længdebjælker, der sammen med Brystningsbjælkerne understøtter Etagepladerne. Der kan yderligere indskydes Bjælker i Retning vinkelret paa Facaden, men denne Ordning, der iøvrigt er meget brugt, kan ikke siges at være helt tilfredsstillende. Man vil i alle Rum se Bjælkerne, og disse vil komme til at ligge tilfældigt i Forhold til Skillevæggene, med mindre man ved Ruminddelingen, der jo nødvendig skulde bestemmes af Bjælkeplaceringen, tog særlige Hensyn. Man bliver ofte nødt til at nedforskalle og pudse under Bjælkerne for at faa et plant Loft. Dette medfører forøget Udgift samtidig med, at Rummet imellem Bjælkerne gaar tabt. Ordningen medfører ikke engang, at Skillevæggene uden videre kan anbringes vilkaarligt, da de daarligt kan støtte mod Forskallingen.

En mere tiltalende Konstruktion faas ved Anvendelse af

Indvendige  
Bjælker og Søj-  
ler. Plader.

## Jernbeton-skelethuse.

Plader, der spænder i Retningen vinkelret paa Facaden. Man faar her et plant Loft uden det døde Rum, som fremkommer ved en Nedforskalling, og man kan anbringe Skillevægge hvor som helst. Denne Inddelingsfrihed er fordelagtig ikke alene ved den oprindelige Ruminddeling, hvor man, i Fald Bjælker benyttedes, trods alt ved Placeringen af Bjælker og Skillerum kunde tage et vist Hensyn til den indbyrdes Beliggenhed mellem disse Elementer, men især i de mange Tilfælde, hvor man i Aarenes Løb maa kunne ændre Inddelingen paa en fra Begyndelsen uforudseelig Maade, f. Eks. i Overensstemmelse med de Krav, som en ny Lejer kan fremsætte.

*Radiohusets  
Administrations-  
bygning.*

Som Eksempel paa den sidstnævnte Konstruktion, er paa Fig. 43 vist et Snit i Administrationsbygningen i Radiohuset (se ogsaa Fig. 41 og 42). Huset er udformet som en Midterkorridorbygning. Der findes i de to Korridorvægge en Række Søjler med Bjælker og paa disse hviler en 18 cm tyk Plade, der tillige er understøttet af Facadebjælkerne.

## Søjleløs Facade.

I Bygninger, hvor man af en eller anden Grund ønsker en lang ubrudt Vinduesfront, hvilket f. Eks. kan være Tilfældet i Forretningsejendomme med Udstillingsvinduer, kan man

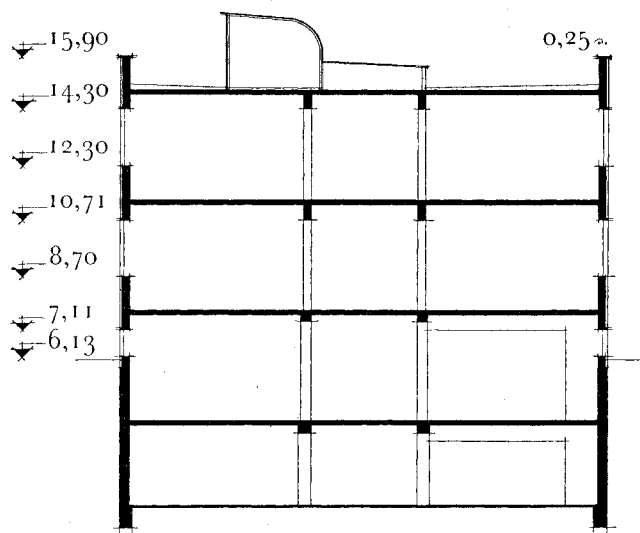


Fig. 43.

lægge en langsgaaende Bjælke understøttet af Søjler i en Afstand paa omkring 1—1,5 m bag Facaden og lade Etagepladen være kraget ud. Den overragende Kant af Pladen skal da bære Facaden, der derfor bør bygges saa let som muligt. Brystningsmuren har nu ikke mere noget konstruktivt Formaal.

Fig. 44 viser et Eksempel paa en Bygning med søjleløs Facade, Raadhuset i Gladsaxe Kommune. Bjælken over de

*Gladsaxe Raadhus.*

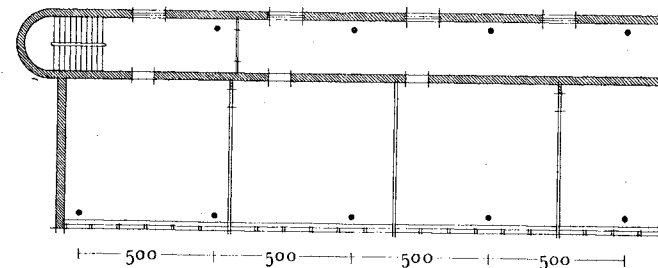


Fig. 44.

tilbagetrukne Søjler er skjult i den tykke Etageplade. Denne er udført som Hulstensdæk, hvilket iøvrigt ikke er særlig heldigt for Husets Stivhed. Den foran omtalte Ordning, hvor Brystningsmuren indgaar som bærende Bjælke, giver hele Bygningen en betydelig Sammenhæng og er derfor rent konstruktivt at foretrække for den sidstnævnte Udformning.

Som Eksempel paa en Bygning, hvor det var nødvendigt at staa fuldstændigt frit ved Ruminddelingen, skal nævnes den ny Administrationsbygning i Kastrup Lufthavn. Man vidste paa Forhaand, at der til Stadighed, paa aldeles uforudseelig Maade, kunde blive ændret paa Ruminddelingen. Bjælkerne blev derfor anbragt i Pladens Overside. Da man, bl. a. for at undgaa Omflytning med Radiatorer ved en Ændring af Ruminddelingen, valgte Straalevarmesystemet, var det udelukket, at der kunde bruges Plade med Bjælke og nedforskallet Loft, ligesom Muligheden for Hulstensdæk maatte udskydes. Der blev derfor anvendt Jernbeton med Bjælker foroven. Først støbtes den 12 cm tykke krydsarmeret

*Lufthavnens  
Administrations-  
bygning.*

*Se Chr. Nøkkentved og  
Gunnar Hjorth: Den  
ny Administrations-  
bygning i Københavns  
Lufthavn, Kastrup.  
»Den tekniske For-  
enings Tidsskrift«.  
1939 Nr. 6.*

## Jernbeton-skelethuse.

Underplade og dernæst Bjælkerne, der kun var 27 cm høje men 50 cm brede ved 5 m's Spændvidde og endnu bredere ved større Spændvidder. Ovenpaa Bjælkerne blev der lagt tynde færdigstøbte Letbetonplader, der imellem Bjælkerne blev støttet paa Underpladen ved Opklodsninger af Mursten.

Fig. 45 viser det færdigstøbte Hus, inden Væggene endnu er anbragt. Man ser, at der i Huset ikke findes andre lodrette Stivhedselementer end Søjlerne, ingen Vægge. Vindkræfterne maa derfor føres ned gennem Søjlerne, i Forbindelse med Pladerne, og man vil derfor forstaa, at der i en saadan Bygning kræves stive Etageadskillelser helt af Jernbeton. Et Hulstensdæk vilde ikke besidde tilstrækkelig Stivhed.

Facaden, der skal bæres af den lige nævnte Konstruktion, er en let Væg bestaaende af Træbindingsværk med indvendig Træbeklædning og udvendig Eternitbeklædning. Fig. 46 viser et Fotografi af den færdige Bygning.

I denne Bygning findes iøvrigt en anden interessant Konstruktion. Forhallen er et stort Rum, 45 m langt og 12 m bredt, og naar helt op til Taget. For at undgaa det trivielle Bjælkeloft, udførtes Tagpladen som et Bølgetag, Fig. 47 og 48, der var 12 cm tykt med 50 cm høje Bølger. Denne Konstruktion virker som et System af tætliggende Bjælker, idet hver Bølge kan betragtes som en saadan. Naar man kan faa en Plade paa kun 12 cm til at spænde 12 m, siger det sig selv, at Materialforbruget af Beton er indskrænket til et Minimum. Den herved indvundne økonomiske Fordel kompenseres dog i nogen Grad af en Fordyrelse ved Forskallingen, der naturligvis er ret kompliceret at fremstille. Ved en omhyggelig Tilrettelæggelse af Forskallingsarbejdet lykkedes det dog alligevel at faa en billig Konstruktion. Forskallingen udførtes kun for  $\frac{1}{3}$  af hele Loftet og var saadan indrettet, at den kunde flyttes, efterhaanden som Støbningen skred frem. Det lykkedes ligeledes at udføre Støbningen paa en billig Maade, idet man undgik Overforskalling, endskønt Bølgepladens Hældning paa det stejleste Sted var  $43^\circ$ .

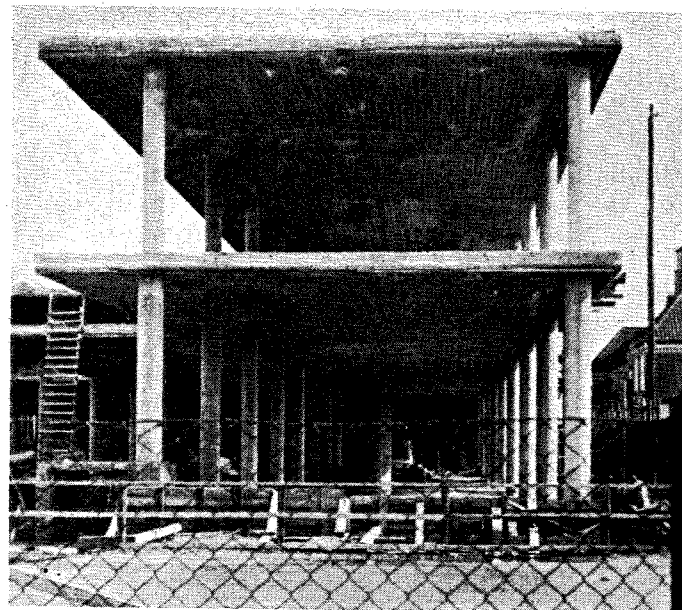


Fig. 45.

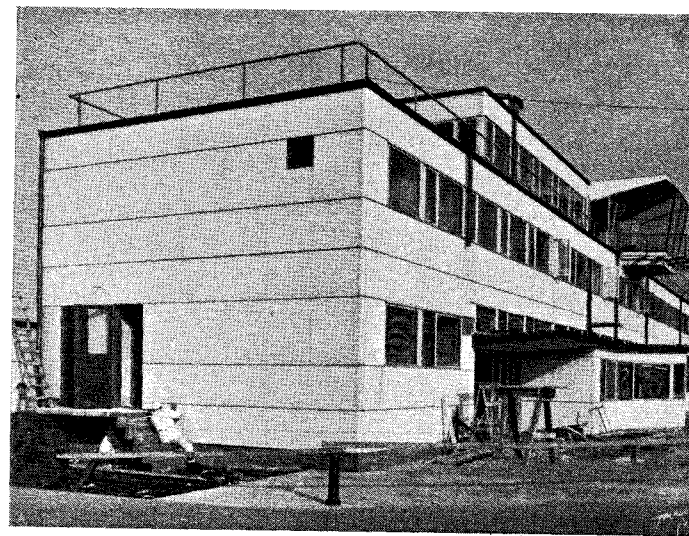


Fig. 46.

## Jernbeton-skelethuse.

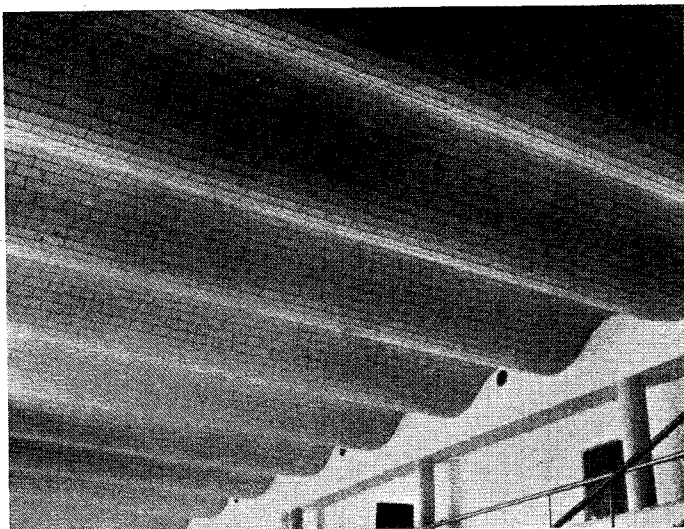


Fig. 47.

Bølgetaget, der ses fra neden paa Fig. 47, er paa Undersiden beklædt med Acousti-Cellotex for at undgaa den voldsomme Genlyd, der uden trufne Forholdsregler vilde være til Stede i saa stor en Hal.

Bølgetaget understøttes i begge Sider af Bjælker, der for hver 5' m er understøttet af Søjler, se Fig. 47. Paa et enkelt

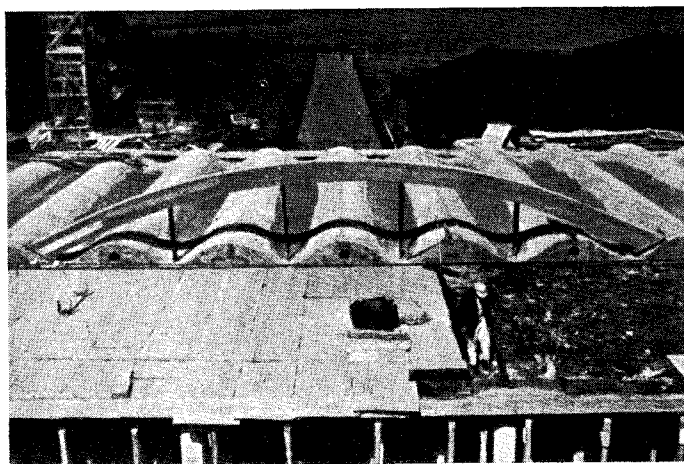


Fig. 48.

Sted, ved et Udgangsparti, maatte to Søjler udelades. Den 15 m lange Drager blev da understøttet paa anden Maade, idet den blev forstærket med en Bue ovenpaa Taget (Fig. 48).

I moderne Huse trækker man ofte den øverste Etage tilbage, i mange Tilfælde for at opfylde Bygningsmyndighedernes Krav. Herved kommer øverste Etages Søjler til at staa paa Bjælkerne i den underliggende Etage. Dette kan naturligvis lade sig gøre, en af Jernbetonens Fordele ligger jo netop i de mange Konstruktionsmuligheder. Men hvor det ikke er nødvendigt, bør man undgaa en Forskydning af de bærende Elementer i Etagerne i Forhold til hinanden, da det giver en baade dyrere, mindre stiv og mindre revnesikker Konstruktion.

Det samme gælder en tilbagetrækket nedre Etage, der hovedsagelig anvendes i Bygninger paa Grunde, hvor Pladsforholdene af en eller anden Aarsag maa indskrænkes til det yderste. Som Eksempel kan nævnes Hotel Astoria i København. De udhængende Etager kan understøttes af selve Ydervæggen, hvis denne udføres af Jernbeton. Ydervæggen kan bæres af udkragede tværgaaende Bjælker i Loftet over den tilbagetrækkede Etage eller af bærende Jernbeton-Tværskillevægge.

I Fig. 20 blev det vist, hvordan Momentet i Midten af en Bjælke bliver reduceret, naar Bjælken er indspændt i begge Ender, d. v. s. naar en Vinkeldrejning af Bjælken her er forhindret. Hvis en Bjælke, der er understøttet af to Søjler, støbes sammen med disse, vil de maaske ikke kunne fastholde Bjælken fuldstændigt i Understøtningspunkterne, men de vil i hvert Fald hæmme Vinkeldrejningerne, der derfor ikke bliver saa store, som hvis Bjælken laa frit ovenpaa Søjlerne. Der fremkommer altsaa et vist Indspændingsmoment i Bjælken, og hertil svarer i Fig. 20 en Slutlinie, som ligger et Sted mellem Grundlinien og den til fuld Indspænding svarende Slutlinie. Momentet i Midten af Bjælken bliver altsaa formindsket, naar Bjælken støbes sammen med Søjlerne, til Gængæld kommer der i disse Momenter, som

## Jernbeton-skelethuse.

### Tilbagetrækkede Etager.

Hotel Astoria.

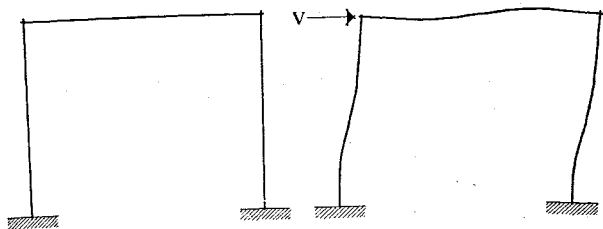
## Rammer.

### Den statiske Virkemaade.



## Rammer.

Fig. 49.



har deres Maksimumsværdi lige i Hjørnet, og som kan blive ganske betydelige, ofte større her end noget andet Sted i Konstruktionen.

En Konstruktion som den her nævnte, hvor Søjler og Bjælker er stift forbundet med hinanden i Skæringspunkterne, kaldes en Rammekonstruktion.

En saadan er i Stand til at optage vandrette Kræfter. Angrebet af en vandret Kraft  $V$ , vil en Ramme, som vist paa Fig. 49 til venstre, faa den paa Fig. 49 til højre viste Deformation. Den rette Vinkel mellem Bjælke og Søjler, vil paa Grund af den stive Sammenhæng ikke ændre sig. Rammen vil naturligvis yde Modstand mod en saadan Deformation, og den vil derfor fremkalde en Reaktion, der er modsat rettet  $V$ .

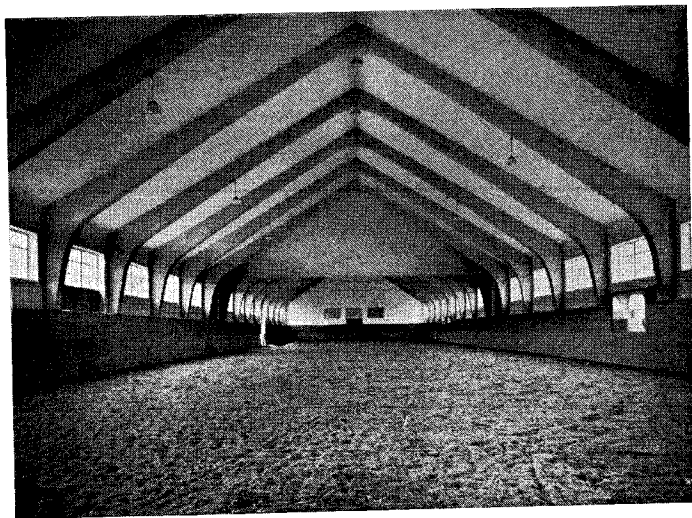


Fig. 50.

Som Led i en Konstruktion, der behøver Stivhed over for Vindbelastning som f. Eks. et almindeligt Skeletus uden afstivende Vægge, er en Ramme en hensigtsmæssig Konstruktion.

Paa Fig. 50 er vist Interieur af et Ridehus i Næstved, hvor den bærende Konstruktion bestaar af en Række Rammer med en indbyrdes Afstand paa 4,8 m, og som understøtter en Jernbetontagplade. Bredden af Ridehuset er 21 m, største Højde 12 m. Det ses at Rammen har sin største Tykkelse i Hjørnet, her findes det største Moment.

Rammerne paa Fig. 50 har en vis Lighed med Buer, men paa Grund af de pludselige Knæk bliver Momenterne større end i en Bue med dens jævne Forløb. Til Gengæld har Rammen til mange Formaal en nok saa bekvem Form som Buen.

Som Eksempel paa en mere sammensat Rammekonstruktion kan nævnes den bærende Konstruktion i Facaden i Radiohusets Administrationsfløj, som er vist paa Fig. 42 og 43.

I de følgende Afsnit er fremdraget forskellige Eksempler paa Rammer i Staal og Træ.

En Bue kan i Reglen udføres betydelig spinklere end en Bjælke med samme Spændvidde. Dette skyldes, at Buens Momenter er langt mindre end Bjælkemomenterne. Ganske vist er Buen, i Modsætning til Bjælken, tillige paavirket af Trykkrafter, men da et stangformet Element er bedre egnet til at optage Kræfter i sin Længderetning end Kræfter, der giver Bøjning, vil de nødvendige Bue-Dimensioner alligevel blive forholdsvis smaa.

For en ganske bestemt Belastning kommer der slet ingen Momenter i Buen:

En Kraft kan altid opløses i to Komposanter, der kan erstatte den. F. Eks. kan Kraften  $P_1$  paa Fig. 51 opløses i de to Kræfter  $S_1$  og  $S_2$ . Naar der er flere Kræfter, kan hver Kraft opløses i to Komposanter. En Tovpolygon som vist paa Fig. 51, er en sammenhængende Linie af saadanne

## Rammer.

### Eksempler paa Rammekonstruktioner.

*Ridehus, Næstved.*

*Radiohusets  
Administrationsfløj.*

## Buer.

### Momentfri Buer.

## Buer.

Komponenter, Kræfterne  $P_0, P_1, P_2 \dots$  kan altsaa erstattes af Kraftsystemet  $S_0, S_1, S_2 \dots$ . Hvis nu en Bues Midtpunktslinie falder sammen med Tovpolygonen, vil hvert Tværsnit i Buen kun være paavirket i sit Midtpunkt af en Kraft  $S$ , og naar et Tværsnit er centralt paavirket, kan der ikke blive Tale om Momenter. Det er derfor en Betingelse for, at Buen er momentfri, at Buemidtlinien er formet efter Tovpolygonen (Tryklinien) for Belastningen.

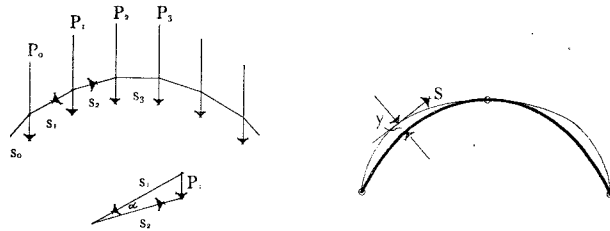


Fig. 51—52.

Hvis Buen er angrebet af en kontinuerlig Belastning, kan det samme Ræsonnement opstilles, naar blot Belastningen opfattes som en Række Enkeltkræfter, der ligger uendelig tæt ved Siden af hinanden. Tovpolygonen svarende til en over en vandret Linie ensformig Belastning er en Parabel.

## Bojningsstive Buer.

En Bue vil aldrig være momentfri, hvis den er paavirket af en bevægelig Belastning f. Eks. fra Sne og Vind. Hvis det f. Eks. forudsættes, at Tovpolygonen skal gaa gennem Buens Toppunkt og Vederlag (se nærmere herom nedenfor), vil man for hvert Belastningstilfælde kunne tegne een Tovpolygon, og da Buemidtlinien kun kan følge en af disse Polygoner, vil alle Belastningstilfælde, der svarer til de øvrige Tovpolygoner fremkalde Momenter i Buen. Naar Buemidtlinien som vist paa Fig. 52 afviger fra Tovpolygonen, i hvis Sider Trykkrafterne  $S$  ligger, bliver Momentet i et vilkaarligt Punkt af Buen lig med Kraften  $S$  multipliceret med dens Afstand  $y$  fra Punktet.

## 3 Charniersbuer.

En Tovpolygon er ikke entydig bestemt af Kræfterne, den kan altid bringes til at gaa gennem 3 vilkaarlig valgte

Punkter. Tovpolygonen kan altsaa ligge paa uendelig mange Maader. Hvis man anbringer 3 Hængsler, Charnierer, i Buen, f. Eks. et i Toppen og et ved hvert Vederlag, er den rigtige Tovpolygon den, der gaar igennem de 3 Charnierer, hvor Momenterne jo skal være 0.

I de færreste Tilfælde indlægges 3 Charnierer, ofte indlægges kun Charnierer ved Vederlagene, Buen er da en 2-Charniersbue, eller man udelader helt Charnierer og har da at gøre med en indspændt Bue. I disse Tilfælde kan Trykliniens Beliggenhed ikke paa Forhaand angives. Buerne er *statisk ubestemte*. En nærmere Undersøgelse kræver Kendskab til Formforandringerne, som efter Elasticitetsteorien kan findes, naar Buematerialets Elasticitetskoefficient kendes.

Medens en 3-Charniersbue blot indstiller sig i en ny Ligevægtsstilling ved en Drejning i Charniererne, hvis Buelængden eller Afstanden mellem Vederlagspunkterne af en eller anden Grund ændrer sig, maa en 2-Charniersbue og en indspændt Bue tvinges ind i en ny Form, hvorved der opstaar Spændinger i Buen. Saadanne Ekstraspenninger kan f. Eks. opstaa, naar Temperaturen varierer, naar Betonen svinder, eller naar Understøtningerne giver efter. Tvangen er naturligvis størst for den indspændte Bue, hvis Form ved Vederlagene er særlig effektivt fastlagt, og hvis der er Fare for, at Understøtningerne vil give sig væsentligt, er det sikrere at benytte en 2-Charniersbue, som nok faar Ekstraspenninger, men som dog ved Vederlagene har Drejelighed. I særlige Tilfælde bør en 3-Charniersbue foretrakkes. I de senere Aar er man ganske vist blevet mindre ængstelig for at benytte statisk ubestemte Buer, selv om Understøtningernes Eftergiven maaske vil blive stor, idet man er klar over, at Krybningen i Betonen, d. v. s. Betonens plastiske Eftergiven over for Spændinger, er saa stor, at Ekstraspenningerne delvis udlignes. Denne Udligningsproces kan man bedst forestille sig, hvis man betragter en Bue af et fuldstændigt plastisk Materiale f. Eks. Ler. Selvom man ved en indspændt Ler-Bue tvinger Vederlagene fra hinanden, vil der

## Buer.

### Statisk ubestemte Buer.

### Ekstraspenninger.

## Buer.

ikke ske andet, end at Leret følger sig efter den ny Stilling, uden at der opstaar nogen Spænding i Buen af den Grund.

### Horisontalkraften.

Hvis Buen ender umiddelbart til venstre for  $P_1$  (Fig. 51), maa Kraften  $S_1$ , der ikke møder nogen Modstand fra noget Bueelement, virke paa det Underlag, hvorpaa Buen hviler. Man ser, at Reaktionen fra Underlaget, der maa være lig med men modsat rettet  $S_1$ , i Modsætning til Reaktionen fra en Bjælke, der er belastet med lodrette Kræfter, ikke er lodret, men at den har en Komposant, Horisontalkraften  $H$  i vandret Retning. Jo fladere Buen er, desto mindre bliver Vinklen  $\alpha$  mellem de to Kræfter  $S$ , og desto større maa disse Kræfter iflg. Konstruktionen blive, d. v. s. desto større bliver Horisontalkraften.

I en Bue, der er Tryklinie til en ensformig Belastning  $p$  pr. Længdeenhed, hvilket vil sige en parabelformet Bue, kan Horisontalkraften let findes under Anvendelse af Snitprincippet, som her med Henblik paa det foreliggende Tilfælde kort skal opridses.

### Snitprincippet.

Hvis man tænker sig, at Buen overskæres f. Eks. i Topunktet, vil en Halvbue, f. Eks. den venstre, ikke falde ned eller bevæge sig, naar man samtidig tilføjer den Virkning, som den højre udøver paa den. Man siger at Snitkræfterne tilføjes. Naar venstre Halvdel saaledes er i Ligevægt, maa de Kræfter, der virker paa den, d. v. s. de ydre Kræfter fra Belastning og Reaktionen samt de tilføjede Snitkræfter, holde hinanden i Ligevægt, deres Moment om et vilkaarligt Punkt maa følgelig være Nul.

I det foreliggende Tilfælde vælges Toppunktet, hvorigennem Snittet ligger, som Momentcentrum, hvorved man opnaar, at Snitkræfternes Moment bliver Nul.

Da de lodrette Reaktionen (Fig. 53a) hver maa være lig med Halvdelen af hele den lodrette Belastning paa Buen, nøjagtig som i en lige Bjælke, bliver Midtpunkts Momentet fra de lodrette Kræfter  $\frac{1}{8}pl^2$ . Da dette Moment skal holdes i Ligevægt af Momentet fra de øvrige Kræfter, hvoraf der kun findes Horisontalkraften  $H$ , faas:

$$Hf = \frac{1}{8}pl^2 \quad H = \frac{pl^2}{8f}$$

## Buer.

Horisontalkraften er saaledes omvendt proportional med Pilhøjden; hvis denne f. Eks. halveres, vil  $H$  fordobles. Den fordelagtigste Pilhøjde ligger omkring  $\frac{1}{6}l$ , men den udføres ofte mindre. Under  $\frac{1}{10}l$  bør man kun undtagelsesvis vælge den. Større Pilhøjder benyttes, naar der er Brug for den større Højde, f. Eks. i en Tennishal som paa Fig. 56, hvor Buerne er ført helt ned til Jorden.

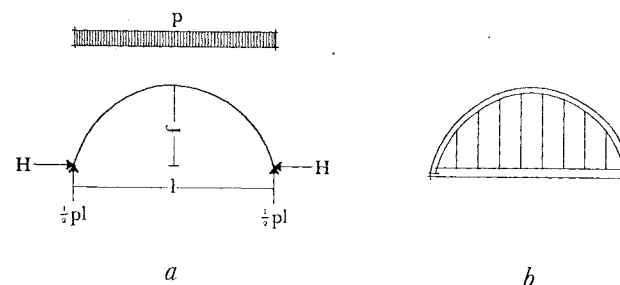


Fig. 53.

Horisontalkraften vil søge at tvinge Buevederlagene fra hinanden, og for at undgaa at dette sker, maa Buen udefra støttes i vandret Retning. Naar Buen er forsynet med et Fundament, der er nedstøbt i Jorden, vil Jordens Modstand i Almindelighed kunne forhindre, at Vederlagene forskyder sig.

Horisontalkraftens Optagelse.

Hvis Buen ikke hviler paa Jorden, maa Konstruktionen, som bærer Buen, kunne optage vandrette Kræfter. Fortidens Kirkebyggere, der naturligvis ikke kunde udtrykke Horisontalkraften i Tal, og som maatte bygge paa Erfaring og Intuition, vidste, at der behøvedes en kraftig Konstruktion til at modstaa Horisontalkraften. Vore gamle Kirkers Stræbepiller er udformet i Overensstemmelse hermed.

I Nutidens Jernbetonkonstruktioner kan Horisontalkraften f. Eks. optages af Tværvægge, der ligger i samme Plan som Buen, eller af skraatstillede Søjler, eller maaske kan den

## Buer.

**Buer med Afstivningsbjælke og Buer med Trækbaand.**

gennem en Etage- eller Tagplade, der fungerer som Skive, føres ud til Gavlvægge.

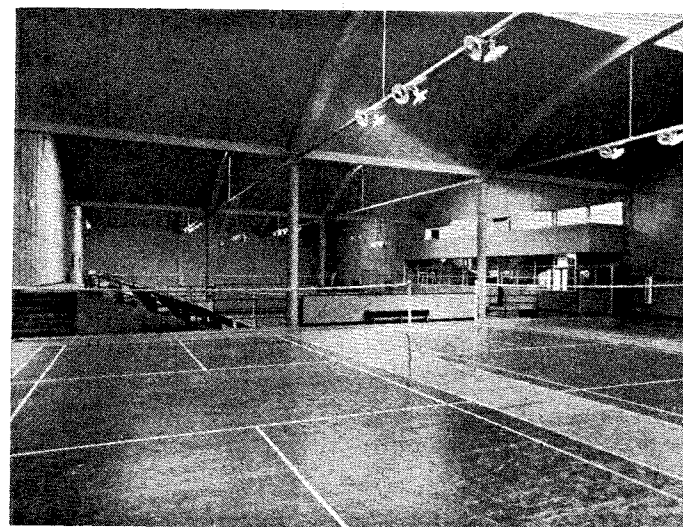
Man kombinerer undertiden Bue og Bjælke som vist paa Fig. 53b. Konstruktionen kan f. Eks. anvendes, hvis en Bjælke, der er fortløbende over en Række Søjler, paa et enkelt Sted har en særlig stor Spændvidde, fordi der her af en eller anden Grund ikke kan anbringes Søjler saa tæt som normalt. Man kan da tit paa Grund af Bueafstivningen nøjes med den Bjælkehøjde, som svarer til de smaa Fag. Konstruktionen er f. Eks., som det tidligere er nævnt, anvendt i Lufthavnen, se Fig. 48.

I Buen vil der komme Tryk, og Bjælken, som forbinder Buevederlagene, vil holde disse paa Plads, saaledes at det ikke er nødvendigt, at Buen udefra støttes i vandret Retning. Herved kommer der i Bjælken et Træk, der naturligvis netop maa være lig Horisontalkraften. En Konstruktion som den her nævnte virker udadtil som en Bjælke, idet den kun, naar den er paavirket af lodrette Kræfter, har lodrette Reaktionen.

Momentet, der har samme Størrelse, som hvis Buen ikke var forbundet med nogen Bjælke, optages af Bue og Bjælke i Forening, idet hver af de to Elementer optager et Moment, der staar i Forhold til det paagældende Elements Tværsnitsinertimoment. Hvis Buen er særlig spinkel, optager Bjælken saa at sige hele Momentet, der som nævnt har Størrelse som et Buemoment. Det er altsaa langt mindre end Momentet i Bjælken betragtet som simpelt understøttet. Hvis det er Bjælken, der er spinkel, optages Momentet af Buen, Bjælken fungerer da blot som Trækbaand, der holder Vederlagene sammen.

Trækbaandet, der statisk set er et naturligt og hensigtsmæssigt Konstruktionsled, virker ikke altid fra et æstetisk Synspunkt lige tiltalende og vil desuden ofte kunne virke generende. Paa Fig. 54, der viser en Badmintonhal i Gentofte, hvor Trækbaandene er anbragt imellem Banerne, er det ikke til nogen Gene, men den samme Hal vil ikke kunne benyttes til Tennis. En anden Ulempe ved en Trækbaands-

*Badmintonhal i  
Gentofte.*

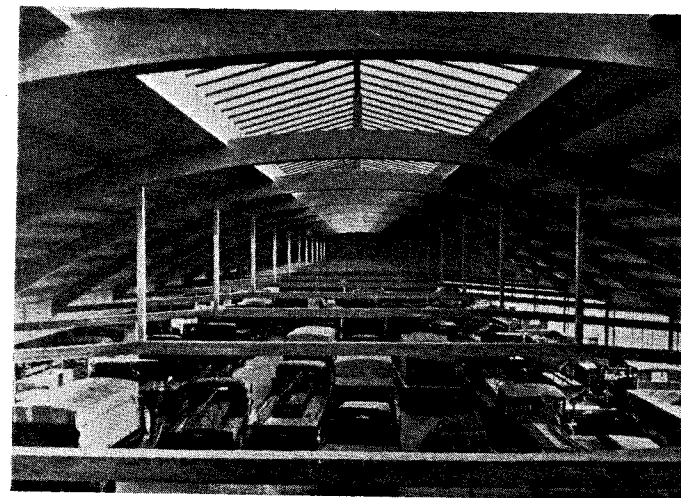


*Fig. 54.*

konstruktion er dens ringe Modstandskraft overfor Brand. For at forbedre dette Forhold kan Trækbaandene indstøbes, som det er gjort paa den i Fig. 55 viste Konstruktion.

Hvis Buevederlagene ender ved en Etageadskillelse, kan Trækbaandene indstøbes i denne.

*Automobilværksted i  
København.*



*Fig. 55.*

## Buer.

I Stedet for at anbringe Buen foroven kan den placeres under Bjælken med Konkaviteten opad. Virkningen paa Momenterne er den samme som før, men Buen faar her Træk, Bjælken Tryk.

Buer i en Halkonstruktion kan efter Tværnsnittets Udformning inddeles i følgende Typer:

## Ribbebuer.

### 1. Ribbebuer.

Buerne udføres saa at sige altid med et rektangulært Tværnsnit og anbringes i en vis indbyrdes Afstand. Hele Tagkonstruktionen, der f. Eks. kan bestaa af Bjælker (Aase) af Træ, Staal eller Jernbeton, som spænder mellem Buerne, og hvorpaa selve Tagdækningen, f. Eks. bestaaende af Brædder med Tagpap, hviler, bæres af Buerne. Der maa sørges for en passende rumlig Stivhed i hele Konstruktionen, hver enkelt Bue maa forhindres i at vælte, hvilket kan ske ved at fastholde Buerne indbyrdes gennem stive Forbindelsesled. Langsgaaende Jernbetonbjælker, der i Skæringspunkterne med Buerne er støbt sammen med disse, kan give en effektiv Afstivning. I Fig. 56, der viser et Interieur af en af K. B.'s Tennishaller paa Frederiksberg, ses det, at de langs-

*Tennishal, K.B.*

*Se W. Jönsson og Chr. Osterfeld: Konstruktioner i K.B.'s Sportsanlæg. »Ingeniøren» 1938, 23. Juli.*

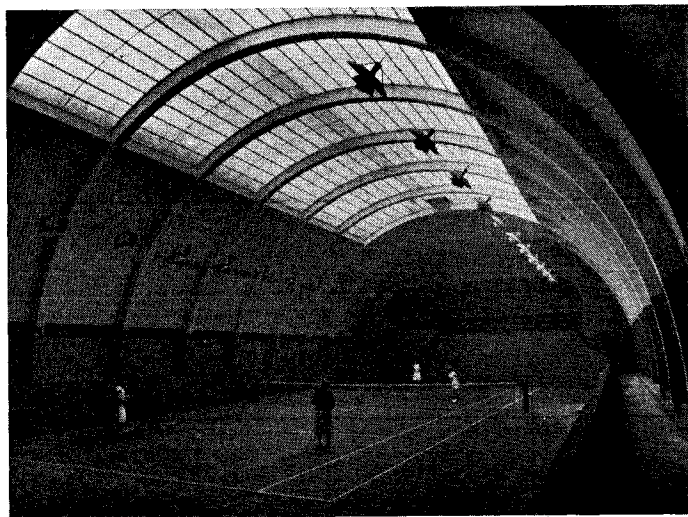


Fig. 56.

gaaende Jernbetonbjælker, der begrænser Ovenlyset, er forbundet med Buerne, hvorved den rumlige Stivhed er sikret. Aasene er skjult bag en indvendig, isolerende Pladebeklædning.

### 2. Ribbebuer med Plade.

Naar der i Stedet for Aase med Bræddebeklædning benyttes en Jernbetonplade, som i sig selv kan spænde fra Bue til Bue, udgør Plade og Ribbe i Forening et Buetværnsnit, som altsaa faar T-Form. En saadan Konstruktion er naturligvis i sig selv rumlig stabil.

### 3. Pladebuer.

Hvis Buens Spændvidde ikke er for stor, kan Tagpladen, uden at dens Tykkelse bliver alt for betydelig, maaske selv bære som Bue eller Hvælving, saaledes at Ribberne helt kan udelades. Denne Løsning er statisk set ikke altid saa tiltalende, idet man ofte ved hensigtsmæssigt Valg af Understøtningerne paa ganske anderledes fordelagtig Maade kan optage Belastningerne. Der tænkes her paa det Princip, der ligger til Grund for de saakaldte Skalkonstruktioner. Disse Konstruktioner er omtalt senere.

Naar der i en Pladebue skal være Ovenlys, maa der omkring dette udføres Forstærkningsbjælker til at kompensere den Del af Pladen, der mangler paa Ovenlysets Plads.

Bjælker kan undgaas, hvis der i Ovenlyset indlægges Betonglas, der som tidligere omtalt kan tage samme Trykpaavirkning som Beton. Betonglas, der er hule i Bunden, bør kun indlægges paa Steder, hvor de bøjende Momenter er positive.

Til Overdækning af et cirkulært Rum kan en Buekonstruktion anvendes, naar Buerne i Stedet for at anbringes parallelt som i de ovennævnte Konstruktioner bliver placeret saadan, at de krydser hinanden i Toppunktet (Fig. 57a). Horisontalkraften fra alle Buerne kan optages af en Træk-ring, som omslutter Kuplen, fornedet i Vederlagenes Plan.

## Buer.

## Ribbebuer med Plade.

## Pladebuer.

*Ovenlys.*

## Kupler.

## Kupler.

Naar der, som det ofte er Tilfældet, skal være Ovenlys i Toppen, kan der naturligvis anbringes Vinduesarealer imellem Ribberne. En elegantere Udformning af Ovenlyset faar man i Reglen ved at afbryde Ribberne i Toppen og til Gengæld anbringe en Ring som vist paa Fig. 57b. Buerne, hvis ene Vederlag nu findes paa denne Ring, maa paavirke den til Tryk.

Hvis en Kuppel ikke har cirkulære Horisontalsnit men f. Eks. elliptiske, bliver Afstivningsringene ikke alene paa-

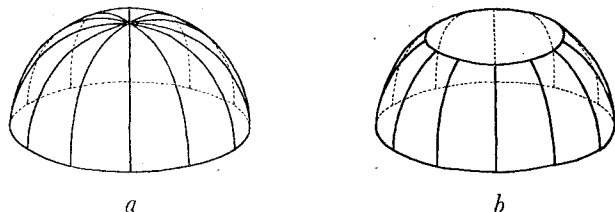


Fig. 57.

virket til Træk eller Tryk men ogsaa til Bøjning og faar derfor større Dimensioner.

Kuppelkonstruktioner kan indeles i de samme Klasser som de cylindriske Buekonstruktioner: 1. Ribbekupler, 2. Ribbekupler med Plade og 3. Pladekupler.

### Ribbekupler.

Ribbekupler, hvor kun Jernbeton-Ribber er bærende, er ikke almindelige, da det naturlige Beklædningsmateriale imellem Ribberne er Jernbeton, da andre Materialer ikke saa let kan bringes til at følge en Kuppels Form. Fremfor den rene Ribbekuppel foretrækkes derfor i Almindelighed en Ribbekuppel med Plade. Som Eksempel paa en saadan Konstruktion kan nævnes Taget over Cirkusbygningen i København (Fig. 58). Diameteren er 40 m, Pilhøjden 10 m. Der findes 20 Buer afstivet af 5 Ringe. Ribberne, der har et Tværnsnit paa  $40 \times 55$  cm, blev støbt paa Jorden og hejst paa Plads efter at Trækningen ved Vederlagene var støbt. Før den øverste Ring var udført kunde der ikke være Tale om nogen Buevirkning i de 6 t tunge Buer, hvis Vederlag ikke var fastholdt foroven, og de blev derfor forsynet med et midlertidigt Trækbaand, der fjernedes, da den øverste

### Ribbekupler med Plade.

Cirkusbygningen.

Se H. Forchhammer: Jernbetonkonstruktioner i Københavns ny Cirkusbygning. »Den tekniske Forenings Tidsskrift« 1914 S. 15 (Afd. f. Jernb.).

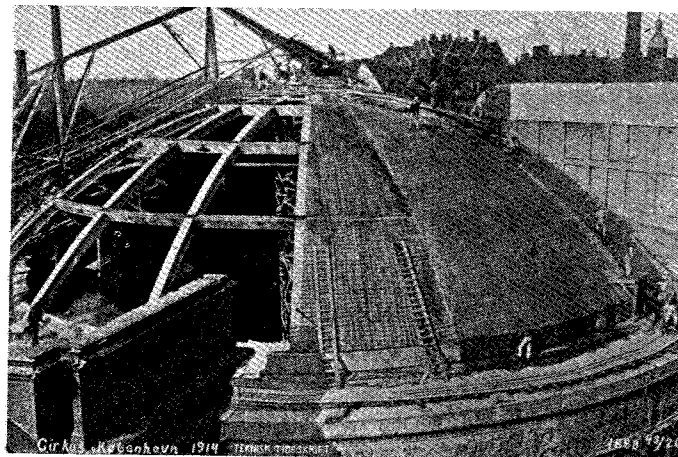


Fig. 58.

Ring var færdig. Til Slut blev Jernbetonpladerne mellem Buerne støbt.

Pladekupler, hvor Pladen i sig selv optager Momenterne, er i Jernbeton ikke almindelig, da man i Reglen kan udforme Konstruktionen saadan, at den ikke bliver paavirket af Momenter eller i det mindste kun paavirkes af Momenter i visse Zoner. Der er da Tale om en Membran-Skalkonstruktion. Herom mere senere.

I tidligere Tider, hvor Jernbeton ikke eksisterede, var Pladekupler den normale Form for cirkulære Buekonstruktioner. Den store Kuppel i Pantheon i Rom, der er bygget saa langt tilbage som ved vor Tidsregnings Begyndelse, har en Spændvidde paa ca. 42 m. Der er naturligvis ikke her Tale om nogen Trækning til at optage Horisontaltrykket, der maa optages af den lodrette Mur hvorpaa Kuplen hviler, og som man derfor har maattet udføre i en betydelig Tykkelse.

En bærende Skive er en Plade, der bærer paa den »høje Led« d. v. s. en høj smal Bjælke. Det siger sig selv, at en saadan Plade kan bære langt mere, end hvis dens Belastning virker vinkelret paa dens Plan.

## Kupler.

### Pladekupler.

Pantheon-Kuplen.

### Bærende Skiver.

Den statiske Virkemaade.

## Bærende Skiver.

Skivekonstruktioner og flere af de følgende Eksempler er nærmere omtalt hos Chr. Nøkkentved: *Moderne Jernbetonkonstruktioner i Husbygning.* »Byggmästaren» 1939, Nr. 30.

I mange ældre Konstruktioner forekommer en Skivevirkning, som man blot ikke i tidligere Tid har været opmærksom paa, og der er derfor ofte indlagt overflødige Bjælker, f. Eks. i Trappekonstruktioner. Dette Forhold har man nu i høj Grad sin Opmærksomhed henvendt paa og søger, hvor det er muligt, at udnytte Skivevirkningen.

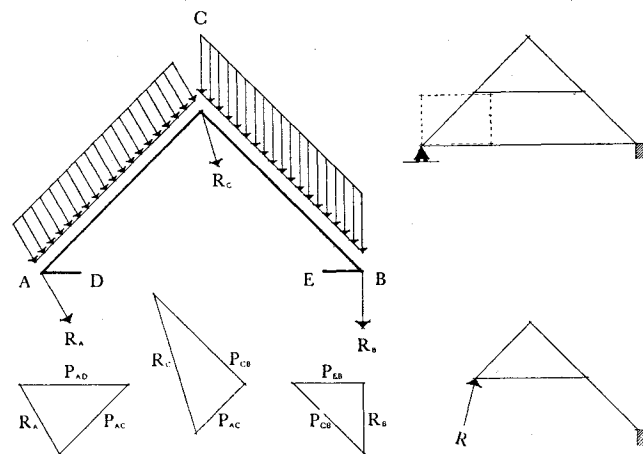


Fig. 59—60.

Naar to Plader, der ligger i forskellige Planer, har en Kant fælles, vil de i Almindelighed kunne understøtte hinanden langs denne Kant. Reaktionen fra de to Plader i Skæringslinjen kan nemlig altid opløses i to Komposanter, der ligger i Pladernes Planer, og hvis Pladerne er understøttet paa passende Maade, er de særlig velegnede til at optage saadanne Kræfter, idet de da bærer som Skiver.

## Jernbetontage.

Som Eksempel vil vi betragte det paa Fig. 59 viste Jernbetontag. Tagpladen AC tænkes understøttet i A og C, Pladen CB i C og B. Herved vil der komme de viste Reaktionen  $R_A$ ,  $R_B$  og  $R_C$  (den sidstnævnte Reaktion er Resultanten af de to Reaktionen i Punkt C fra Pladerne AC og CB). Hver af de tre Reaktionen opløses i Retning af de to Plader, der støder sammen i den Kant, hvori Reaktionen virker. Opløsningen er foretaget i de paa Figuren viste Kraftpolygoner,  $R_A$  opløses i  $P_{AD}$  og  $P_{AC}$ ,  $R_B$  i  $P_{CB}$  og  $P_{EB}$  og  $R_C$  i  $P_{AC}$  og  $P_{CB}$ .

## Bærende Skiver.

Pladen AC er i Punkterne A og C paavirket af de to Kræfter  $P_{AC}$ , der begge ligger i Pladens Plan. Hvis Pladen f. Eks. af Husets Gavle er understøttet ved Enderne, virker den som en Bjælke med Højde lig Pladebredden AC og Bredde lig Pladetykkelsen og med en Spændvidde, der er lig Afstanden mellem Gavlene.

Foruden de her nævnte Reaktionen, skal AC ogsaa optage de Kræfter, der virker direkte paa Pladen. Disse Kræfter er dels lodrette, Egenvægt og Sne, og dels vinkelrette paa Pladen, Vindtryk. De førstnævnte Kræfter kan opløses i Pladeplanen og i den derpaa vinkelrette Retning. Den Komposant, der ligger i Pladens Plan, optages paa samme Maade som Reaktionen af Pladen AC virkende som Bjælke paa den høje Led, medens den anden Komposant optages af Tagfladen virkende som Plade med Spændvidde lig Bredden AC.

Som det ses er det nødvendigt, at de to Plader AD og EB findes. De behøver ikke just som i Fig. 59 at være vandrette, hvis der, som det tit er Tilfældet, findes lodrette Mure, skal de to Reaktionen  $R_A$  og  $R_B$  blot opløses efter Tagpladen og i en lodret Komposant.

Da Tagpladen virkende som Bjælke med Pladebredden som Bjælkehøjde i Reglen kan optage langt større Kræfter, end naar den virker som Plade med en i Forhold til Bjælkehøjden ganske lille Tykkelse, er Paavirkningen vinkelret paa Pladen næsten altid bestemmende for Dimensionerne. Hvis Pladetykkelsen bliver for stor, fordi Spændvidden AC er rigelig, kan man indskyde en ekstra Understøtning mellem A og C f. Eks. i Form af en vandret Plade, der paa samme Maade som de andre Plader virker som Bjælke fra Gavl til Gavl.

Det her omtalte Konstruktionsprincip »bærende Skiver» kan paa mange andre Maader end ovenfor beskrevet anvendes i Jernbetonhusbygning. Det kan undertiden være vanskeligt at faa Overblikket over Virkemaaden i en saadan Konstruktion, hvis den er sammensat af mange Plader. En Forestilling om Samspelet mellem Pladerne kan man

Papmodeller.

## Bærende Skiver.

Tagkonstruktion i Nationalmusæet.

faa ved Paavirkning af smaa Papmodeller. Men man faar naturligvis ingen Oplysning om Størrelsen af de fremkaldte Spændinger eller om de nødvendige Dimensioner.

Som et mere sammensat Eksempel skal nævnes Taget paa en Del af det ny Nationalmusæum i København. Konstruktionen bestaar af en Række Jernbetonspær (Fig. 60), hvormellem Tagpladen spænder. Spærerne er forsynet med Hanebjælke og ved Foden findes et Trækbaand, der ligger ind-

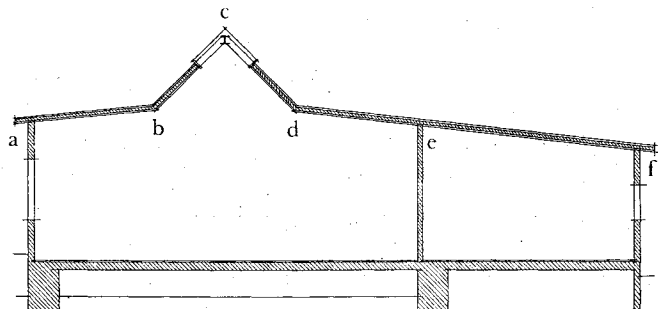


Fig. 61.

støbt i den øverste Etageplade. Da man ønskede at udnytte en Del af Tagrummet ved at indrette et Rum som vist med punkteret Streg paa Fig. 60, var det nødvendigt paa en lang Strækning at undvære en Del af Spærerne, idet de i den ene Side maatte afbrydes ca. 2 m over den bærende Mur. Man beregnede Spærerne, som om de her var fast understøttede. Reaktionen  $R$  blev opløst i en Komposant efter Tagretningen og i en vandret Komposant. Den førstnævnte regnedes optaget af Tagfladen spændende som Bjælke mellem de to nærmeste gennemgaaende Spær, medens den vandrette Kraft blev optaget af en vandret Plade, der støbtes i Hanebjælkernes Plan, og som ligeledes virker som Bjælke mellem de ikke overskaarne Spær.

Som et andet Eksempel skal nævnes Tagkonstruktionen i Kloakpumpestationen i Skovshoved (Fig. 61). Til Trods for at der ingen virkelige Bjælker findes i Taget, kan man, naar Princippet »bærende Skiver« lægges til Grund for Beregningen, regne Tagpladen opdelt i Pladerne  $ab$ ,  $bc$ ,  $cd$ ,  $de$  og  $ef$ , der alle har forholdsvis ringe Spændvidde. I Toppen

Tagkonstruktion i Pumpestation, Skovshoved.

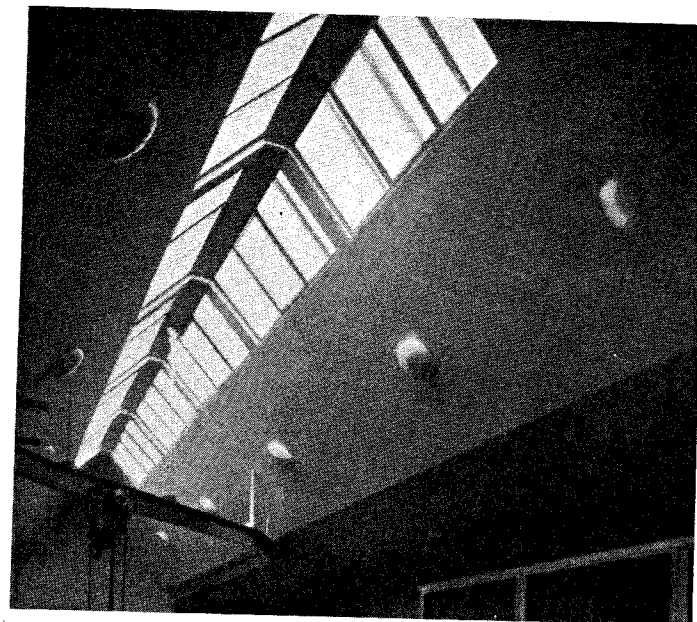


Fig. 62.

kan de to Plader  $bc$  og  $cd$  ikke støtte hinanden direkte paa en Længde af 10 m paa Grund af Ovenlyset. Hele Bygningen er 16 m lang, og Pladerne er kun i de yderste 3 m i hver Ende ført helt sammen, medens der paa de midterste 10 m er støbt Jernbetonspær, der (Fig. 62) er stift forbundet med Pladen forneden og med en langsgaaende Bjælke i Toppen, hvorved der dannes en saakaldt Vierendeeldrager, der i Virkeligheden blot er en Plade, som paa den »høje Led« virker som Bjælke, hvori der er udsparet Huller.

Naar der i et Trappeløb indgaar en Plade, kan Trinene enten støbes i et med denne (Fig. 63) eller oplægges som færdigstøbte Trin ovenpaa Pladen (Fig. 64).

Hvis den samlede Spændvidde  $l$  for Trappeløb og Reposer ikke er for stor, kan Trappen beregnes som en Plade med to Knæk og med Spændvidde  $l$ . I de fleste Tilfælde vil Pladen dog herved blive for tyk, og man kan derfor indlægge Reposer og lade Reposer og Trappeløb bære hver for sig.

## Bærende Skiver.

## Bærende Jernbetontrapper.

Forskellige Typer.



## Jernbeton-trapper.

I mange Tilfælde, ogsaa hvor man tidligere har anbragt Reposbjælker, er disse helt overflødige, idet man ved Anvendelse af Princippet »bærende Skiver« kan faa Trappen til at bære uden saadanne Bjælker. Dette forudsætter dog en passende Understøtning af Trappepladen. Herom mere nedenfor.

Ofte kan Trappeløbets Plade undværes, idet Trinene i sig selv kan bære.

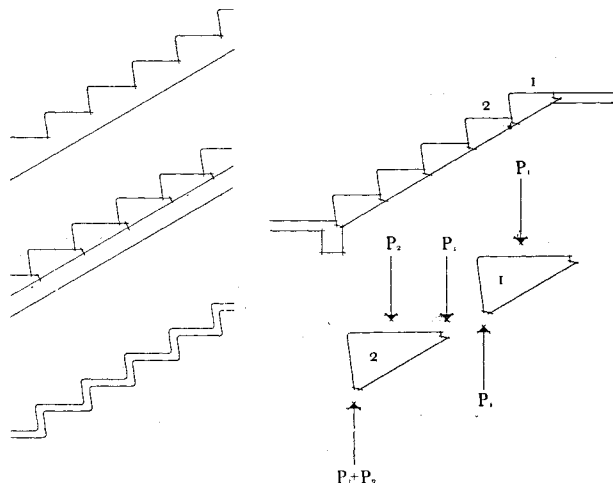


Fig. 63-64-65-66.

Hvis en 1-Løbs Trappe paa begge Sider er begrænset af Mure, kan Trinene understøttes i disse, og hvert Trin virker da som en simpelt understøttet Bjælke.

Dersom der kun findes een Væg langs Trappen, kan Trinene muligvis regnes indspændt i Væggen. Dette forudsætter, at Væggen kan optage Bøjningsmomenter vinkelret paa sin egen Plan, hvilket f. Eks. en Jernbetonvæg ofte vil kunne. Paa Fig. 65 er vist en almindelig Form for en Jernbetontrappe; de vandrette Elementer regnes understøttede paa de lodrette, der bærer som Bjælker og er armerede i Overensstemmelse hermed.

Hvis Væggen er en tynd Murstensvæg, kan man ikke regne med, at noget Bøjningsmoment kan optages. Derimod kan man næsten altid regne med, at den kan optage et Vridningsmoment, der ligger i dens egen Plan. Hvert af de

**Bøjnings-  
indspændte  
Trapper.**

**Vridnings-  
indspændte  
Trapper.**

Trin, der, som vist paa Fig. 66, hviler paa hinanden, og som kun er indmurede i den ene Ende, vil være paavirket af Belastningen fra de ovenliggende Trin. Belastningen  $P_1$  paa Trin 1 maa optages af Trin 2. Da Belastningen  $P_1$  og Reaktionen  $P_1$  fra Trin 2 ikke virker i samme Linie, maa Trin 1 være paavirket af et Vridningsmoment. Det næste Trin er paavirket nedad af  $P_1$  og  $P_2$  og opad af en Reaktion af samme Størrelse, d. v. s. det er stærkere paavirket end det 1. Trin. Hvis Trinbredden er  $a$  og  $P_1 = P_2 = \dots = P$ , vil det  $n$ 'te Trin være paavirket af et Vridningsmoment

$$M_v = Pa(n - \frac{1}{2}).$$

Hvis den vandrette Bevægelse af øverste Trin er forhindret, og dette er oftest Tilfældet, vil der fremkomme et Horisontaltryk, der mere end halverer det maksimale Vridningsmoment.

Mange Jernbetontrapper er som ovenfor nævnt understøttet paa en saadan Maade, at Trappeløb og Reposer fungerer som bærende Skiver.

Lad os betragte en almindelig 2-Løbs Trappe som den, der er vist paa Fig. 67. Trappeløb og Reposer understøtter gensidigt hinanden i Knæpunkterne. Et Trappeløb er altsaa understøttet langs 3 Sider: langs Væggen og paa de to Reposer. Reposerne er understøttet langs 3 Vægge og paa Trappepladerne.

## Jernbeton-trapper.

Se Laboratoriet for Bygningsstatik: Indmurede Trapper. »Bygningsstatiske Meddelelser« 1945, S. 26.

**2-Løbs Trapper  
med Skive-  
virkning.**

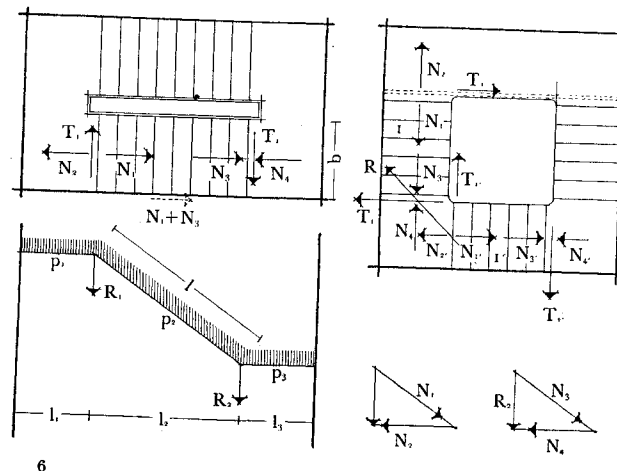


Fig. 67-68.

## Jernbeton-trapper.

I det øverste Knæpunkt optræder Reaktionen  $R_1$ , der er Summen af Reaktionerne fra øverste Repos og fra Trappeløb,  $R_1 = \frac{1}{2}p_1l_1 + \frac{1}{2}p_2l_2$ . I nederste Knæpunkt findes en tilsvarende Reaktion  $R_2 = \frac{1}{2}p_2l_2 + \frac{1}{2}p_3l_3$ .  $R_1$  og  $R_2$  opløses i Kræfter i Trappeløbets Plan og i Reposernes Plan, henholdsvis i  $N_1$  og  $N_2$  og i  $N_3$  og  $N_4$ .  $N_1 + N_3$  er en Kraft, der virker midt i Trappeløbet i dettes Plan. Denne Kraft kan flyttes ind til Væggen, naar der samtidig tilføjes Momentet  $M = (N_1 + N_3) \frac{b}{2}$ . Hvis Løbet er forbundet med Væggen, kan

denne normalt optage Kraften. Momentet kan opløses i Kraftparret  $T_1$ , der bestaar af to Forskydningskræfter, som paavirker Reposerne i Knæpunkterne, og som er bestemt af:

$$M = T_1 l = (N_1 + N_3) \frac{b}{2}; \quad T_1 = (N_1 + N_3) \frac{b}{2l}.$$

Trappeløbet bærer som Skive fra Repos til Repos paavirket af Momentet  $M$  og samtidig som Plade med samme Spændvidde paavirket af Momentet fra den lodrette Belastning.

Naar Reposerne er understøttet af Vægge paa de 3 Sider, kan  $T_1$  optages, idet den kan flyttes til Endevæggen og optages der. Herved opstaar ganske vist Momentet  $T_1 \cdot l_3$ , der vil forsøge at dreje Reposen, men da den er fastholdt af de to modstaaende Sidevægge, er Drejningen hindret.

Paa Fig. 68 er vist en 3-Løbs Trappe. I Almindelighed vil man ikke her udelukkende kunne benytte samme Princip som ovenfor.

Hvis vi anvender samme Betragtning som for en 2-Løbs Trappe, faas følgende Kræfter virkende paa Trappe 1:  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  og  $N_4$  samt, efter Flytning af  $N_1$  og  $N_3$ , de to Kræfter  $T_1$ . Paa Trappe 1' virker de tilsvarende Kræfter, saaledes at Hjørnereposen alt i alt vil blive paavirket af Kræfterne  $T_1$ ,  $T_1'$ ,  $N_4$  og  $N_2'$ , der har en Resultant  $R$ , som den paa Figuren viste. Paavirket af denne Kraft vil Hjørnereposen forsøge at dreje sig, men herved bliver Væggene paavirket til Bøjning. Hvis disse nu ikke kan optage nogen

Bøjning — og en almindelig Trappevæg af Mursten vil i Reglen ikke kunne optage det paagældende Bøjningsmoment — virker Trappen slet ikke som forudsat.

Trappeløbet i kan, hvis det forudsættes indspændt i Skæringslinien med den lange Repos, forhindre Hjørnereposen i at dreje sig. Trappeløbet bliver derved paavirket af et Moment, som ligger i Pladens Plan, og som naturligvis har sin største Værdi i Indspændingssnittet. Da den lange Repos ligger i en anden Plan end Trappeløbet, kan den ikke uden videre optage Momentet, man er derfor nødt til at indlægge en Kantbjælke (vist punkteret paa Fig. 68) i den lange Repos Forside, hvorved Momentet, der ligger i Trappeløbets Plan, kan opløses i to Komposanter: Et Moment, der ligger i Reposens Plan og kan optages af denne, og et Moment, der ligger i en lodret Plan, og som maa optages af Bjælken.

Skalkonstruktioner har i de senere Aar fundet stigende Udbredelse. Vanskelighederne ved deres Beregning kan være ganske betydelige, og der er mange Punkter, som endnu ikke er rigtig klarlagt. Men efterhaanden som Erfaringsmaterialet vokser, og Beregningsmetoderne gennem teoretiske Overvejelser og gennem Forsøg forbedres, vil disse Konstruktioner utvivlsomt naa en Fuldkommenhed, der berettiger dem til paa mange Omraader at fortrænge tidligere Tidens Konstruktionsmetoder.

I en Skalkonstruktion søger man ligesom i en Skivekonstruktion at faa Belastningen optaget gennem Spændinger, der ligger i selve Fladen. Fordelen herved er søgt anskueliggjort i Fig. 69: Det er indlysende, at en vandret udkraget Plade paavirket af den lodrette Belastning  $P$  vil faa Bøjningsspændinger, der vil kunne frembringe langt større Nedbøjninger og derfor være farligere for Pladen end de Trykspændinger, som fremkaldes af den vandrette Belastning  $P$ , og som ligger i selve Pladens Plan.

I Fig. 70a er vist en Skalkonstruktion bestaaende af en Halvcylinder, som er understøttet af Gavlmurene. I Fig. 70b

## Jernbeton-trapper.

### Skalkonstruktioner.

*Skalkonstruktioner er oversigtsmæssigt behandlet og en Litteraturliste er givet hos Poul Neményi: Schalenkonstruktionen. »Bygningsstatistiske Meddelelser» 1934, S. 11.*

### Den statiske Virkemaade.

## Skal-konstruk-tioner.

er den samme Cylinder understøttet langs de vandrette Rande og bærer altsaa som Bue. Saafremt denne Bue ikke nøjagtigt er Tryklinie til Belastningen, maa der fremkaldes Momenter, der søger at bøje Buen paa samme Maade, som en Plade bøjes, og da Pladetykkelsen er meget ringe, er Modstand mod Bøjning lille. I Fig. 70a bærer Cylinderen som en Bjælke med Bjælkehøjde  $h$  og med en Spændvidde lig Afstanden mellem Gavlene. Der vil herved i Almindelighed som i en sædvanlig simpelt understøttet Bjælke komme

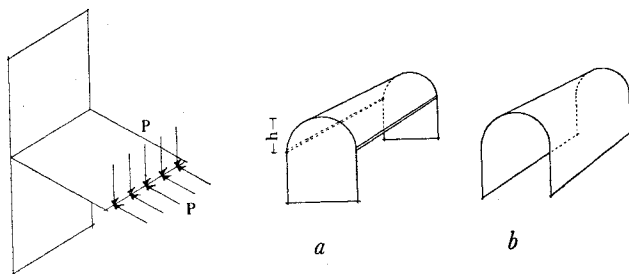


Fig. 69—70.

Tryk i Oversiden, Træk i Undersiden altsaa opstaa Spændinger, der ligger i selve Skalplanen. Det er indlysende, at et Tværnsnit med en Bjælkehøjde, der er lig Cylinderens Højde, maa være i Besiddelse af stor Bæreevne i Forhold til Buen i Fig. 70b, hvilket man paa simpel Maade kan overbevise sig om ved Forsøg med et Stykke Papir, hvis Bøjningsmodstand er yderst ringe, men som rullet sammen til en Cylinder, der mod Haandfladerne støttes i begge Ender udviser en betydelig Bøjningsstivhed.

### Membran-Teori.

Naar en Skal ikke er paavirket af Momenter, betegnes den som bøjningsfri og kan da udregnes efter den saakaldte Membran-Teori.

### Momenter i Cylinderskaller.

Nu er det dog sjældent muligt at undgaa, at der kommer Momenter i en Skalkonstruktion. I den paa Fig. 70a viste Cylinderskal opstaar der som nævnt Kræfter, der ligger i selve Skalfladen. Disse Kræfter vil ikke stoppe op ved Skallens vandrette Rande. Man er derfor i Reglen nødt til at indlægge Bjælker langs disse Rande som vist paa Fig. 70a for at kunne optage de Kræfter, som virker her.

Hvis Skallen var udført uden Randbjælker og heller ikke behøvede nogen (hvilket var Tilfældet, hvis Kræfterne langs Randen var Nul), kunde den deformere sig, uden at der opstod Bøjningsmomenter. Forsynet med Randbjælker vil Skallen ikke kunne antage den Deformation, der svarer til den bøjningsfri Tilstand, Randbjælkerne vil udøve en Tvang paa Skallen, og derved fremkalde Momenter.

Det samme er Tilfældet for en Omdrejningsskal, d. v. s. en Skal der kan tænkes formet af en Kurve, som drejes om en lodret Akse gennem sit Toppunkt. Paa Fig. 71 er vist et lodret Snit i en saadan Skal, der er understøttet saavel lodret, af en cylinderformet Mur, som vandret, af en cirkulær Randbjælke, hvorved de lodrette og vandrette Komposanter af Kræfterne, der ligger i Skalfladen, kan optages. Men Skallen kan ikke antage den Form (vist med punkteret Streg) som den bøjningsfri Skal under Belastning vil tilstræbe at naa. Da den af den vandrette Ring er fastholdt i Vederlaget, faar den en Form (vist med tynd Streg), der svarer til, at man, efter at den bøjningsfri Tilstand er naaet, bøjer Randen tilbage til Vederlagsringen. Under denne Bøjning maa der opstaa Momenter ved Skallens Rand.

Hvis den vandrette Ring fjernedes, kunde Deformationen, dersom de lodrette Mure var høje og slanke, foregaa frit. Men da de Kræfter, der ligger i Skalfladen, ikke kan holde Ligevægt med lodrette Reaktionen, vilde der ogsaa i dette Tilfælde opstaa Momenter, der iøvrigt i Reglen vil være betydelig større end de ovenfor nævnte Momenter. Man vil derfor saa at sige altid anbringe den omtalte Randbjælke.

Der er andre Maader, hvorved der kan opstaa Momenter. Enhver Diskontinuitet i Belastning (Enkeltkraft), i Skaltykkelse eller i Tangenthældning vil frembringe Momenter.

Der er imidlertid en karakteristisk Egenskab ved alle disse Momenter: De optræder forholdsvis lokalt. Momenterne i Fig. 71 paavirker kun Skallen i en Zone ved Randen, en Enkeltkraft fremkalder kun Momenter i sin nærmeste Omegn (Enkeltkraften frembringer en lokal Bule). I Størstedelen af

## Skal-konstruk-tioner.

### Momenter i Omdrejningsskaller.

## Skalkonstruktioner.

Skallen optræder derfor i Reglen kun Spændinger, der ligger i Skalfladen, og naar disse Spændinger, der i Almindelighed kræver ringe Godstykkelse, er udregnet efter Membranteorien, kan man ofte ved en Tillægsberegning finde de lokale Bøjningsmomenter.

For at finde Bøjningsmomenterne er det nødvendigt at kende Skaltykkelsen, som altsaa paa Forhaand maa skønnes. Jo tykkere den er, desto mindre virker Skallen som Membran, jo større bliver nemlig Bøjningsmomenterne, hvilket

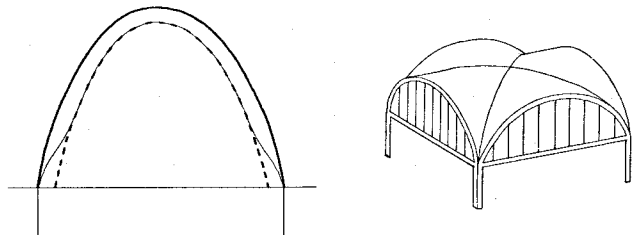


Fig. 71—72.

man let forstaar, naar Fig. 71 betragtes: Naar Randen fra den bøjningsfri Tilstand skal tvinges tilbage til Vederlaget, maa den Kraft, der anvendes, være større, jo større Skaltykkelsen er.

I det følgende skal fremdrages nogle Eksempler paa forskellige Skalkonstruktioner.

### Cylinderskaller.

Den almindeligste Konstruktion er vel nok den paa Fig. 70a viste Cylinderskal, som ovenfor er omtalt.

### Krydshvelving.

Paa Fig. 72 ses en Krydshvelving, der kan tænkes sammensat af 2 Cylinderskaller, der skærer hinanden under en ret Vinkel, og hvor alle Dele, der ligger under Skæringslinierne, er fjernet.

Tennishal, K. B.

Se Henvisning S. 72.

Fig. 73 viser et Interieur af K. B.'s Tennis-Opvisningshal paa Frederiksberg. Den bærende Konstruktion bestaar af Buer, hvorimellem der er udstøbt Cylinderskaller, der er forsynet med Randbjælker baade i Undersiden, paa det Sted, hvor Buerne kommer til Syne, og ved Ovenlyset. Disse Bjælker ligger ligesom Buerne over Skallen og kan altsaa ikke ses indefra.

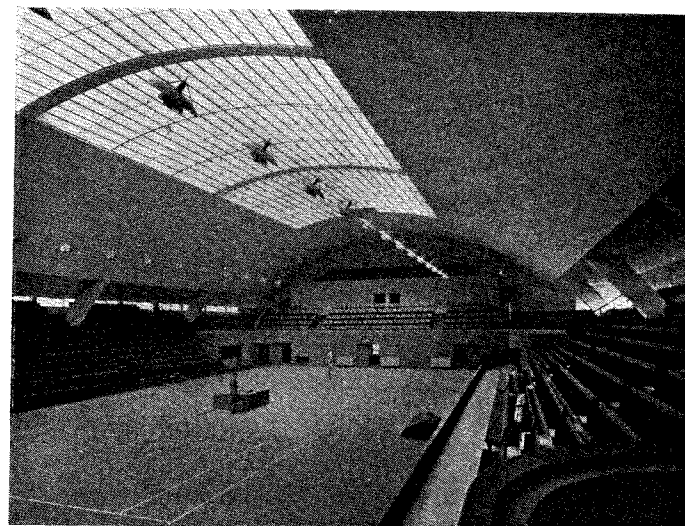


Fig. 73.

Buernes Afstand er 12,6 m, medens Skaltykkelsen kun er 8 cm. Hvis man dimensionerer Skallen som Plade spændende fra Bue til Bue, viser det sig, at en Tykkelse paa omkring 50 cm er nødvendig.

Paa Fig. 74 ses en lignende Skalkonstruktion anvendt i en Tribune, hvor de bærende Bjælker, der, som det ses, har

Tribune.

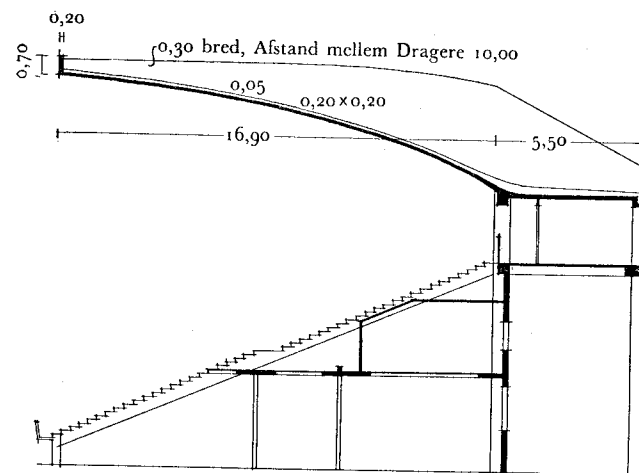


Fig. 74.

## Skal-konstruktioner.

en betydelig Udkragningslængde, er anbragt i en indbyrdes Afstand af 10 m. Langs de vandrette Rande er Skallen forsynet med Bjælker. Skaltykkelsen er kun 5 cm, men imellem Bjælkerne er anbragt nogle sekundære Bjælker (20×20 cm), der ikke danner nogen Understøtning for Skallen, men som blot skal forhindre den i at »slaa Folder«, hvilket kan ske i en tynd Plade, der er paavirket af et stort Tryk i sin egen Plan. Det er et lignende Fænomen som det, der knytter sig til en tynd Søjle, der paavirket af et vist kritisk Tryk, pludselig kan bøje ud i en Bue. Ribber mod Foldning anbringes ofte især i Cylinderskaller, uden at de tages med i den egentlige Beregning af Skallens Bæreevne. En Undersøgelse af Foldningsfaren kan muligvis vise at de er ønskelige, men iøvrigt anbringes de ikke sjældent »for en Sikkerheds Skyld«, da en Foldningsberegning i Almindelighed ikke lader sig udføre med betryggende Nøjagtighed paa det nuværende Stade af Teoriens Udvikling.

*Hangar i Værlose.*

Paa Fig. 75 og 76 er vist en Hangar i Værlose, et Rum paa ca. 40×60 m. Konstruktionen bestaar af 4 Cylinderskaller med en lodret Ribbe i Kanterne. Skallen er understøttet ved Enderne samt i Midten, som vist paa Fig. 76. Spændvidden fra Ende til Midten bliver altsaa ca. 30 m, den enkelte Buebredde ca. 10 m medens Skaltykkelsen er 6 cm.

*Administrationsbygning i Lufthavnen.*

Efter samme Princip, som ligger til Grund for den her nævnte Konstruktion, er det tidligere omtalte Bølgetag (Fig. 47) over Administrationsbygningen i Kastrup Lufthavn konstrueret, omend Maalforholdene er forskellige.

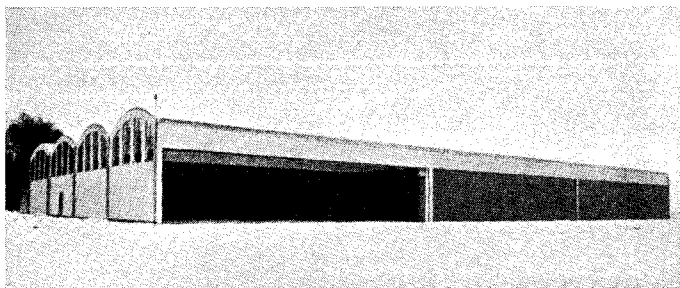


Fig. 75.

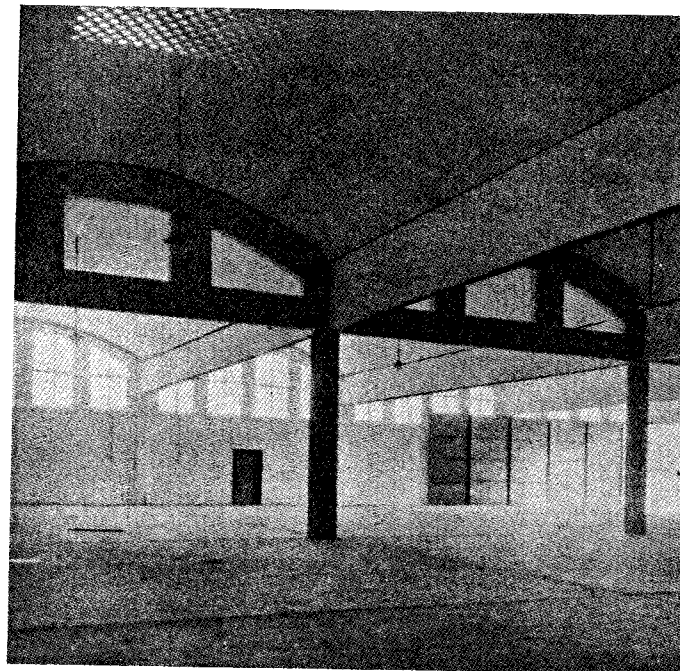


Fig. 76.

Begge Konstruktioner bærer i Virkeligheden som Bjælker med en Bjælkehøjde lig Afstanden fra Underside til Overside af den samlede Konstruktion.

Paa Fig. 77 ses en Tegning af Radiohusets Kantine. Det største Rum (til højre), der er 24 m langt og 16 m bredt, er overdækket af en 12 cm tyk Skal og udført saaledes, at det kan aabnes fuldstændigt til den ene Side, som vender ud mod en Taghave. Skallen er her støbt med dobbelt Plade, hvorved Tværsnittet faar den fornødne Styrke til at bære paa den 24 m lange Spændvidde. Hulrummet mellem de to Plader benyttes som Ventilationskanal. I den anden Side af Skallen er Randen understøttet af Søjler med 3,2 m's Af-

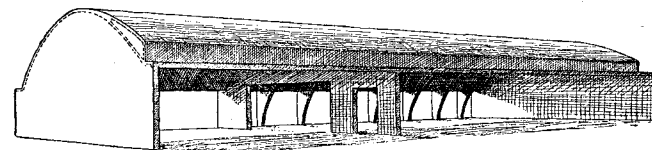


Fig. 77.

## Skal-konstruktioner.

*Radiohusets Kantine.*

*Se nærmere herom hos K. W. Johansen: Skal-konstruktioner paa Radiohuset.*

*»Bygningsstatiske Meddelelser« 1944, S. 1.*

## Skal- konstruk- tioner.

stand. Der er ikke indlagt nogen særlig Bjælke til at overføre Randkræfterne til Søjlerne, den nederste Zone i selve Skallen bærer som Bjælke mellem disse. Herved kommer der ganske vist Momenter i Skallen, men de optages ved Hjælp af en ekstra Armering.

Foruden Vinduesarealer under Skallen i de to langs-gaaende Sider, er der i selve Skalfladen placeret en Række

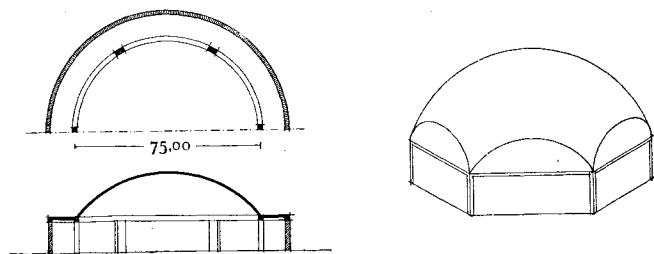


Fig. 78—79.

»Koojer«, 1 m i Diameter, som er omgivet af en Ribbe, der kompenserer den bortskaarne Del af Pladen.

### Omdrejnings- skaller.

Kuglekalot.

I Fig. 78 er vist en Omdrejningsskal (Kuglekalot) der ligesom den ene Side i den ovennævnte Skal kun er understøttet i enkelte Punkter, idet der er anbragt 6 Søjler i Omkredsen af Randcirklen, hvis Diameter er 75 m. Den nederste Zone af Skallen fungerer som Bjælke og overfører Randkræfterne til Søjlerne. Disse kan kun optage lodrette Kræfter. Til at optage de vandrette Komposanter er omkring Randen anbragt en ringformet Bjælke.

Afskaaret  
Omdrejningsskal.

En anden Omdrejningsskal, der her er afskaaret polygonalt af lodrette Planer, saaledes at Grundfladen bliver en ligesidet Sexkant, er vist paa Fig. 79. Hele Konstruktionen bæres af faa Søjler, der er placeret i Rand-Polygonens Vinkelspidser.

I Fig. 80 ses Overdækningen af et rektangulært Rum, hvor der er benyttet 3 Rotationsskaller, der hver for sig er afskaaret saadan, at Randpolygonen er kvadratisk. Hver Skal hviler kun paa 4 Søjler, en i hvert Hjørnepunkt, men Randene er, som det ses paa Figuren, afstivet af lodrette og

## Skal- konstruk- tioner.

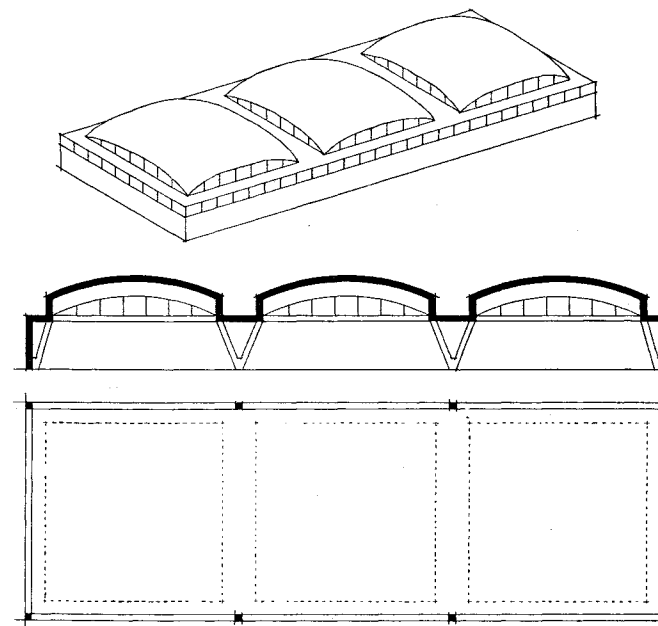


Fig. 80.

vandrette Plader, der i Pladeplanen virker som Bjælker med stor Højde, altsaa med stor Stivhed.

En morsom men rent beregningsmæssig vanskelig Konstruktion er den paa Fig. 81 viste Skal, som overdækker Koncertsalen i Radiohuset. Skallen, hvis Krumning er betydelig større i Længderetningen end i Tværetningen, overfører, netop paa Grund af dette Forhold, største Delen

### Andre dobbelt- krumme Skaller.

Radiohusets  
Koncertsal.

Se K. W. Johansen:  
Bøjningsfri Spændingstilstande i Skaller.  
»Bygningsstatiske  
Meddelelser« 1937,  
S. 79.

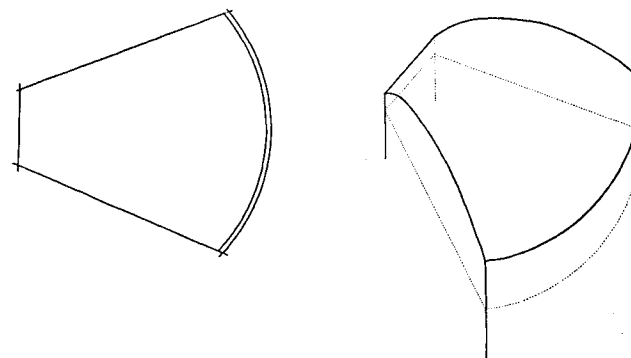


Fig. 81.

## Skalkonstruktioner.

af sin Belastning til For- og Bagende, medens en forholdsvis lille Del bæres af Sidemurene, hvilket for saa vidt er uheldigt, som de ugennembrudte Sidemure er velegnede til Understøtninger. Skallens forreste Rand er ellipseformet og vandret, og der er her indlagt et Trækbaand, hvis Træk er 500 t. Da Trækbaandet ikke som i en Omdrejningsskal »løber tilbage i sig selv«, maa det forankres. Forankringen er foretaget i de to Sidevægge, hvortil Kræfterne føres ud, og som paavirkes i deres egen Plan.

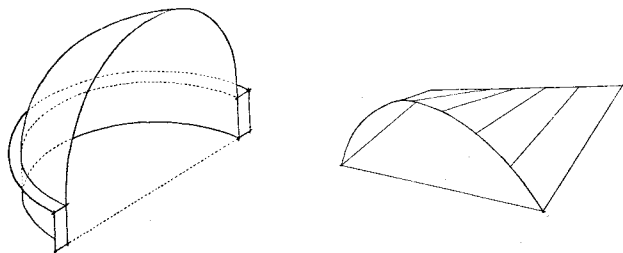


Fig. 82—83.

I Bagenden fungerer en Zone i Skallen som Bjælke mellem de to Sidemure.

Skallens største Udstrækning er paa begge Leder ca. 40 m, og Skaltykkelsen er 12 cm, valgt saa stor, fordi man af Hensyn til de uundgaaelige Randmomenter vil have to Lag Jern i Skallen, saa den i hvert Fald kan optage nogen Momenter. Den rene Membrantilstand kræver kun en Tykkelse paa omkring 6 cm. Foruden sin egen Vægt bærer Skallen en omtrent lige saa stor Vægt, idet den under sig bærer et Betonloft, som er anbragt her af akustiske Grunde.

Tribune.

Paa Fig. 82 er vist en Skal, der egner sig til en Tribune el. lign. Skallen, der bestaar af  $\frac{1}{4}$  Kugleskal, kan i Forbindelse med en Cylinderskal anvendes til Overdækning af et ovalt Rum, idet Cylinderen i hver Ende lukkes med en saadan Kugleskal.

Om enkelt- og dobbeltkrumme Skaller.

Der er i det foregaaende nævnt Eksempler paa to Hovedtyper af Skalkonstruktioner: Enkelt- og dobbeltkrumme Skaller. De sidstnævnte, hvis Form medfører en særlig stor Stivhed, kræver ofte en meget ringe Godstykkelse, men til



Fig. 84.

## Skalkonstruktioner.

Gengæld kan Forskallingsarbejdet være vanskeligt og dyrt. Al Forskalling maa tilskæres krumt eller i bedste Fald udføres af smaa retlinede Elementer, som efter endt Brug ikke har stor Mulighed for at finde anden Anvendelse. En enkeltkrum Skal kan udformes ved Hjælp af Ledebuer, som følger Skallens Krumning, og som understøtter retlinede Brædder, der ligger i Frembringerretningen.

I de senere Aar er der især i Frankrig udført en Del Skalkonstruktioner bestaaende af vindskæve Flader, der besidder betydelig Stivhed og som kan opbygges af lutter retlinede Elementer. Disse Flader (Konoider) kan tænkes dannet af en ret Linie (Frembringeren), der bevæger sig parallelt med en Plan, idet den glider paa en given ret Linie og en given Kurve (Fig. 83). Fig. 84 viser en Række Konoideskaller benyttet i en Shedtagskonstruktion.

Konoideskaller.

Hvis der skal anbringes Ovenlys i en Skalkonstruktion, kan man enten indstøbe Betonglas, der som tidligere nævnt i Reglen styrkemæssigt kan regnes som Beton, eller man kan i Skallen udspare et Hul til Vindueskonstruktionen. Hvis der f. Eks. i den paa Fig. 78 viste Rotationsskal fordres Lysarealer, kan man bortskære Toppen over en vandret Plan og faar derved en fri Rand foroven ganske i Lighed med den Rand, der findes forneden. Det er derfor ogsaa nødvendigt at anbringe en Randbjælke omkring Vinduesaabningen.

Ovenlys i Skalkonstruktioner.

Det er tidligere under Omtalen af bærende Skiver nævnt, at man med en simpel Papmodel kan faa et vist Overblik over en Konstruktions Virkemaade, uden at man naturligvis herved finder Spændingernes Størrelse. Hvis Modellen derimod udføres af et mere homogent Materiale og i et bestemt Maalforhold, kan man ogsaa faa Oplysning om Spændings-

Modelforsøg.

## Skalkonstruktioner.

forholdene. Ved Hjælp af et Maaleur, hvis Viser f. Eks. drejer sig en Omgang for en Bevægelse paa 1 mm af en med Viseren forbunden Stift, kan man ved Belastning paa Modellen maale Nedbøjninger paa mindre end  $\frac{1}{100}$  mm. Forlængelser eller Forkortelser i selve Skalfladen maales ved Hjælp af et saakaldt Tensometer, hvorpaa man kan aflæse Længdeændringer mellem to Maalepunkter, der før Belastningens Anbringelse f. Eks. er afsat med en indbyrdes Afstand paa nøjagtig 20 mm. Naar Formforandringerne er maalt, kan man, hvis Materialets Elasticitetskoefficient kendes, udregne Spændingerne.

I en Skalkonstruktion som den paa Fig. 77 viste er det vanskeligt at overse Spændingsforløbet, og man kan ikke være helt sikker paa, om de Forudsætninger, som ligger til Grund for Beregningerne, er tilstrækkelig nøjagtige. Der blev derfor af en 2 mm tyk Celluloidplade udført en Model i Maalforhold 1:50 af Skallen. Ved Fremstilling af Modellen blev Celluloidpladen bøjet over en Form af Messingblik og ved Vægte fastholdt i denne Stilling. Derefter blev det hele nedsænket i Vand, som blev opvarmet til 80° C. og derpaa langsomt afkølet. Efter Tørring havde Pladen den ønskede Form. Pladerne, der danner den øvre Begrænsning af det lukkede Tværsnit samt de vandrette Plader ved Randene, paasattes bagefter ved Hjælp af Iseddike, som paasmurtes de Dele, der skulde forbindes. Iseddiken opløste Celluloiden, og idet den størknede under Sæmspænding af de to Dele, blev en effektiv Svejsning bragt i Stand.

Jo større Maalforhold en Model er bygget i, desto bedre bliver Resultaterne. Undertiden foretages Maalinger paa selve den færdige Skal, der altsaa fungerer som Model i Maalforhold 1:1, hvilket naturligvis er det ideelle, idet man jo herved finder de virkelige Spændinger. Ganske vist paa et Tidspunkt, hvor det er for sent at ændre sin Konstruktion, hvis Spændingerne viser sig at være større end beregnet. Den Erfaring, man vinder under saadanne Maalinger, har stor Værdi ved senere Beregninger af lignende Konstruktioner.

I specielle Konstruktioner som Vandtaarne, Siloer o. lign., hvor Konstruktionen, samtidig med at den en bærende, tillige skal danne Begrænsning for Indholdet, er Jenbeton, som paa een Gang besidder stor Styrke og Tæthed, nu om Stunder næsten eneraadende.

Uden at komme nærmere ind paa saadanne Konstruktioner, hvor Variationsmulighederne er meget store, og hvor der er frit Spillerum for Fantasien, skal der her som et enkelt Eksempel omtales den paa Fig. 85 viste Vandbeholder. Den bestaar af 4 cylindriske Rum hævet op over Terrænet dels af Søjler i Omkredsen og dels af Paddehatsøjler, som understøtter hver af Bundpladerne i Midten. Hver Cylinder er en Skalkonstruktion, som dog ikke kan undgaa at faa Bøjningsmomenter, fordi de er sammenstøbt med Bundpladen (jævnf. Betragtningerne i Forbindelse med Fig. 71).

For at skabe en tæt Beton i Beholderens Bund og Sider blev den under Udstøbningen vibreret. Vibreringen foregik med en *Perivibrator*, der bestaar af en Stang, som foroven omsluttes af et Skaft, hvori den ved Hjælp af Trykluft bringes

## Taarne, Skorstene m. m.

Vandtaarne, Siloer.

Vandbeholder ved Baunehøj i Lyngby.

Se Axel Efsen:  
3800 m<sup>3</sup> Vandbeholder af Jernbeton.  
»Beton-Teknik« 1941,  
Nr. 4.

Vibrering.

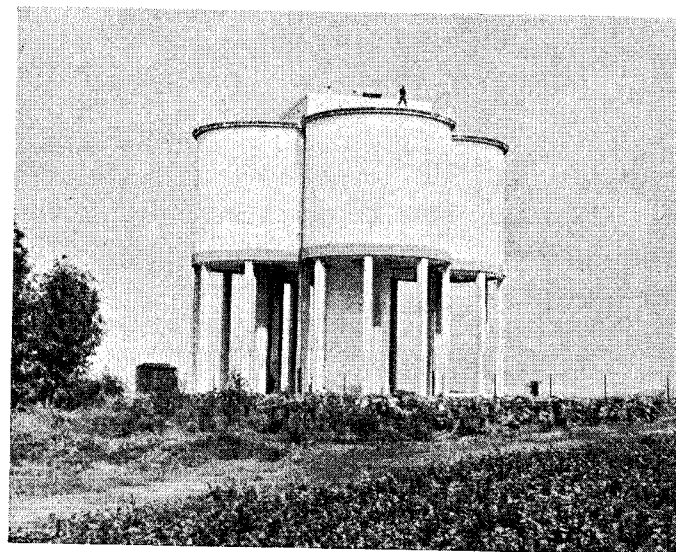


Fig. 85.



**Taarne,  
Skorstene  
m. m.**

til at foretage meget hurtige frem- og tilbagegaaende Bevægelser. Den vibrerende Stang føres igennem den lige udstøbte Beton, der herved rystes sammen saaledes, at Hulrummene formindskes til det mindst mulige. Beholderen blev for yderligere at sikre Vandtætheden asfalteret indvendig.

I andre Tilfælde har man sikret Betonens Vandtæthed ved Tilsætning af en Vædske, som under Betonens Stærkning udskiller Krystaller i Hulrummene.

**Skorstene.**

Til Skorstene benyttes ogsaa Jernbeton, men for Skorstene, der ikke er usædvanlig høje, er Mursten det dominerende Materiale. Jernbeton kan ødelægges af Røgen. I nedbrudte Skorstene har man set, at Armeringen paa sine Steder helt er tæret bort. Naar Jernbeton anvendes er det derfor nødvendigt, at Skorstenen fores indvendigt med et røgbestandigt Materiale, i Almindelighed benyttes mere eller mindre haardt brændte Teglsten alt efter Røgens Temperatur.

## STAALKONSTRUKTIONER

Til Staalkonstruktioner anvendes overvejende blødt Staal, der tillige er sejgt, og som forholdsvis let lader sig behandle med Høvl, Bor, Fil o. s. v. Til Lejer, Søjlefødder o. lign. benyttes dog i Almindelighed Staalstøbegods.

Her i Landet anvendes hovedsageligt St. 37 (tysk Normalstaal), der er blødt Staal med en mindste Brudgrænse paa 3700 kg/cm<sup>2</sup>. Flydegrænsen, den Grænse hvor Forlængelserne begynder at vokse voldsomt, ligger omkring 2400 kg/cm<sup>2</sup>, og den totale Forlængelse i Brudøjeblikket er 20—25%. St. 44 (engelsk Normalstaal) med en mindste Brudgrænse paa 4400 kg/cm<sup>2</sup> anvendes dog ogsaa en Del her i Landet.

I de senere Aar anvender man i stigende Udstrækning haardere Staalsorter, Kvalitetsstaal, der har højere Brudgrænse, f. Eks. St. 52, St. 56 o. s. v. I almindelige Husbygningkonstruktioner er Normalstaalet dog endnu næsten eneraadende.

De danske Normer fastsætter for Normalstaalet følgende tilladelige Paavirkninger, der svarer til Sikkerhedsgrader, som ligger mellem 2 og 3:

	Tilladelig Paavirkning kg/cm <sup>2</sup>	
	St. 37	St. 44
For Bjælker og Søjler i almindelige Etageadskillelser samt for Staalkonstruktioner som Staalskeletbygninger o. lign., beregnet efter mindre nøjagtige Tilnærmelsesmetoder . . . . .	1300	1540
For Staalkonstruktioner som Staalskeletbygninger o. lign. beregnet efter nøjagtigere Metoder . . . . .	1450	1730

Normerne belønner saaledes direkte den dygtige og omhyggelige Konstruktør.

**Materialet.**

*Om Staalkonstruktioners almindelige Teori, se Anker Englund: Staalkonstruktioner I, København. 1943.*

**Forskellige Staalsorter.**

St. 37.

St. 44.

*Kvalitetsstaal.*

**Tilladelige Paavirkninger.**

*Se »Normer for Beregning og Udførelse af Staalkonstruktioners«. Udarbejdet af Dansk Ingeniørforening i Samarbejde med Dansk Selskab for Bygningsstatik.*

## Forbindelser.

### Nitter.

Forbindelser i Staalkonstruktioner udføres ved Hjælp af Nitter, Bolte eller ved Svejsning.

Nitning foregaar som bekendt paa den Maade, at der bores igennem de Pladestykker, som skal samles, hvorefter der i det frembragte Hul anbringes en glødende Nitte, der f. Eks. ved Hjælp af en Trykluftshammer dels stukkes, saa den helt udfylder Hullet, og dels i den Ende, der ikke fra Begyndelsen er forsynet med Hoved, bearbejdes, saa der ogsaa her fremkommer et Hoved. Naar Nitten afkøles, trækker den sig sammen, hvorved Pladerne presses mod hinanden.

### Bolte.

I Stedet for Nitter kan anvendes Pasbolte, afdrejede Bolte, der, som Navnet antyder, passer nøjagtigt til det borede Hul. I Husbygningskonstruktioner anvendes ofte sorte, uafdrejede Bolte, især i sekundære Forbindelser. Saa-danne Bolte, der ikke passer stramt i de borede Huller, kan kun regnes at optage ca. 80% af den Belastning, som en Nitte eller en Pasbolt kan optage.

### Svejsning.

I de senere Aar benyttes i stigende Udstrækning Svejsning. Den udføres for Staalkonstruktioners Vedkommende oftest som elektrisk Lysbuesvejsning. Lysbuen danner man imellem Arbejdsstykket og en Staalstang, Elektroden, der under den høje Varmegrad smelter og flyder ned i Svejestedet. Der benyttes en høj Strømstyrke, op til flere hundrede Ampère, og en Spænding mellem Elektrode og Arbejdsstykke paa 20—30 Volt. Lysbuens Længde er 3—5 mm. Temperaturen i Lysbuen ligger omkring 4000°.

I Svejsningens første Tid, da man anvendte en saakaldt blank Elektrode, der blot bestod af en Staalstang, var en vis Iltning af det smeltede Metal uundgaelig. For at beskytte Staalet under Smeltningen og Størkningen benytter man nu enten *dyppede* Elektroder, hvor Staalstangen er omgivet af et tyndt beskyttende Overtræk f. Eks. af Silikater, eller *beklædte* Elektroder, som er omgivet af en Kappe af imprægneret Asbest. Under Smeltningen dækkes Staalet af et Slaggelag, der hindrer Iltning, og igennem en Beklædning kan man samtidig tilføre Staalet forskellige ønskelige

Stoffer (Kul, Nikkel, Mangan m. m.) og derved opnaa at faa en Svejsesøm med samme Styrke, Sejghed o. s. v. som i selve Staalkonstruktionen.

I Stedet for Lysbuesvejsning kan anvendes Gassvejsning (Autogensvejsning), hvor Randene af de to Arbejdsstykker smeltes sammen af en Gas-Flamme, i Reglen en Ilt-Acetylen-Flamme, der har en Varmegrad paa ca. 3000°. Under Svejsningen benyttes i Almindelighed et Tilsatsmateriale i Form af en Svejsetraad, der smeltes ned mellem de to Arbejdsstykker.

I en fuldkommen Svejsning er Styrken mindst lige saa stor som i det omgivende Staal. Normerne tillader dog endnu ikke i alle Tilfælde, at man regner med samme Styrke.

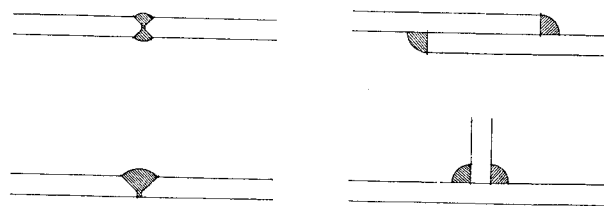


Fig. 86—87.

Svejsesømme kan deles i to Grupper:

1. Stumpsømme, som forbinder to Stykker Staal, der ikke rører hinanden, men som kun er i Forbindelse med hinanden gennem Svejsesømmen. Før Svejsningen tilspidser *skærper* man i Reglen Pladekanterne, se Fig. 86.

2. Kantsømme, der ligger langs Kanten af Berøringsfladerne mellem to Staalstykker. Fig. 87 viser et Par Eksempler.

Svejsning er i langt højere Grad end Nitning et Tillidsarbejde, idet en tilsyneladende perfekt Svejsesøm kan indeholde Hulrum eller paa anden Maade have Fejl, medens man næsten ved direkte Betragtning af en Nitte kan afgøre, om den er tilfredsstillende. Der maa derfor føres nøje Kontrol med Svejsearbejdet, f. Eks. ved Udtagning af Prøver. I de senere Aar er man kommet ind paa at benytte Røntgenfotografering ved Undersøgelse af Svejsforbindelser.

I en svejset Staalkonstruktion svejses de Forbindelser, der kan udføres paa Jorden, medens man i Reglen benytter

## Forbindelser.

### Autogensvejsning.

### Stumpsømme.

### Kantsømme.

### Svejsning contra Nitning og Boltning.

## Forbindelser.

Bolte i Forbindelser, der maa udføres under Montagen, idet man ikke tør stole paa en Svejsning, der er foretaget under mere eller mindre ubekvemme Forhold paa et Stillads. Nitning kan naturligvis benyttes, men der kræves langt bedre Arbejdsforhold paa Stilladset, naar en Nitte skal anbringes, end naar det drejer sig om at paaskrue en Bolt.

Svejsning kan næsten altid udføres, hvor to Elementer paa vilkaarlig Maade støder sammen, og tillader derfor en langt friere Udformning af en Konstruktion end Nitning. Som en anden Fordel ved Svejsning kan nævnes, at man ikke her som ved Anvendelse af Nitter eller Bolte, hvor det er nødvendigt at bore Huller i Profilerne paa Samlingsstederne, behøver at svække Konstruktionen.

## Profiler.

Staal leveres i valsede Profiler, der, hvis det er nødvendigt, kan sammensættes til større Enheder.

### Færdigvalsedede Profiler.

Profilmjern findes i mange forskellige Former, f. Eks. som L-Jern (Vinkeljern), I-Jern, C-Jern,  $\Gamma$ -Jern, T-Jern, der betegnes med de Bogstaver, som de minder om. Hvert af de nævnte Profiler kan anvendes som Bjælker eller Søjler. Almindeligst er I-Jernene.

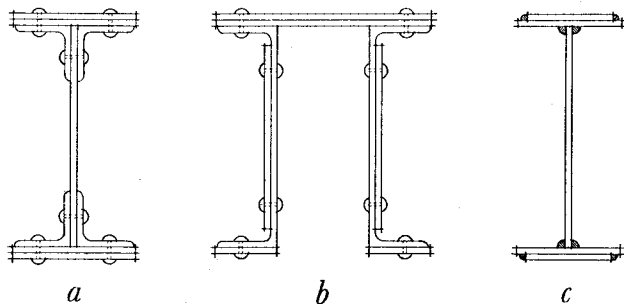


Fig. 88.

### Sammensatte Profiler.

Ofte bliver man dog ved Hjælp af Profilmjern og Plader nødt til selv at sammensætte et Profil.

### Massive Profiler.

Hvis man nitter, kan Profilet f. Eks. udformes som vist i Fig. 88a af en lodret Staalplade og Flanger af L-Jern og Lameller.

## Profiler.

For større Profiler, eller for Profiler, hvor der er Fare for Udknækning til Siden, kan man ofte med Fordel anvende Dobbeltkrop, f. Eks. som vist i Fig. 88b.

I et svejset Profil benytter man ikke L-Jern, men svejser Flangerne direkte paa Staalpladen som det f. Eks. ses i Fig. 88c. Hvis det er nødvendigt, kan Flangerne forøges ved Paasvejsning af flere Plader.

Hvis man skal sammensætte et stort Profil, kan det ofte betale sig at benytte en mindre massiv Konstruktion, hvor Flangerne er udført som ovenfor nævnt, men hvor Kroppladen er opløst i et Gittersystem. Man kan herved spare Materiale, men da Arbejdslønnen samtidig stiger, er det ikke paa Forhaand givet hvilket Profil, der er det billigste. I de senere Aar har der været en udpræget Tendens til at forlade tidligere Tidens sammensatte Gitre til Fordel for de massive Dragere.

*Gitter-Profiler.*

Som Staalbjælker i en Etageadskillelse anvendes saa at sige kun I-Profiler. Alt efter Rummets Form og Størrelse anvendes Bjælker alene spændende fra Mur til Mur eller Bjælker understøttet af Dragere, der eventuelt understøttes af Søjler (jævnf. Fig. 17).

En Forbindelse mellem Bjælke og Drager udføres simpelt, naar Bjælken hviler ovenpaa Drageren som vist i

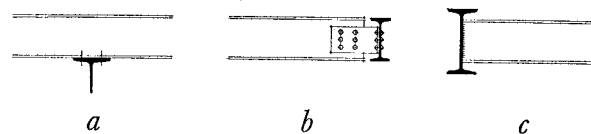


Fig. 89.

Fig. 89a, men Konstruktionshøjden bliver større end ved Ordningen i Fig. 89b, hvor der ved Forbindelsen maa benyttes Vinkellasker, hvis man da ikke svejser som i Fig. 89c.

Skal der ovenpaa Staalbjælkerne lægges Bræddegulv, forsynes Bjælken med Flangetræ (Fig. 90a). Hvis Staalbjælkerne understøtter et System af sekundære Træbjælker,

## Etageadskillelser.

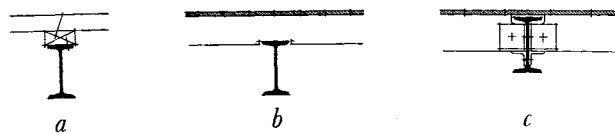
### Staalbjælker og deres Forbindelser.

*Om Staalkonstruktioners Anvendelse i Husbygning, se Anker Engelund: Staalkonstruktioner II, København. 1944.*

*Staalbjælker med Bræddegulv.*

## Etageadskillelser.

Fig. 90.



hvorpaa Gulvbrædderne er fastgjort, kan der benyttes den paa Fig. 90b viste Ordning eller, hvis Konstruktionshøjden herved bliver for stor, det paa Fig. 90c viste Arrangement.

Staalbjælker i  
Betondæk.

Et Staalbjælkelag indgaar ofte i en støbt Etageadskillelse (Badeværelse) som vist i Fig. 91a, hvor Betonpladen for smaa Afstande (ikke over 1 m) tit kan udføres uden Armering.

Paa Fig. 91b er vist et Eksempel paa en muret Kappe, som er afrettet med Letbeton.

Staalbjælker i  
Hulstendæk.

Ogsaa i Forbindelse med Hulstendæk benyttes Staalbjælker. Almindeligvis anvendes **I**-Jern, paa hvis Underflange Hulstenen kan understøttes.

Brandsikre  
Etage-  
adskillelser.

Staal er ikke et brandsikkert Materiale, under en Brand maaske endog farligere end Træ, selv om det jo ikke i sig selv er brændbart. Men det bliver under Paavirkning af stærk Varme blødt og kan vride sig fuldstændig ud af Form. Man maa derfor i mange Tilfælde, i hvert Fald naar det for-dres fra Myndighedernes Side, omstøbe eller ommure Staalet. De i Fig. 91 viste Staaldragere kan regnes for brandsikrede.

Altaner.

Naar Bjælkerne i en Etageadskillelse ligger vinkelret paa Ydermuren, kan man let ved at forlænge nogle af disse Bjælker tilvejebringe Understøtninger for Altaner. Hvis Bjælkelaget ligger parallelt med Muren, maa der anbringes særlige Altanbjælker, som da forlænges ind i Etageadskillelsen og forbindes med Etagebjælkerne. Kun hvis det drejer sig om meget smaa Udhæng, kan der benyttes Altanbjælker, der blot er indmurede i Ydermuren, idet man da naturligvis maa sikre sig, at der er Mur nok over Bjælkerne til at danne Kontravægt.

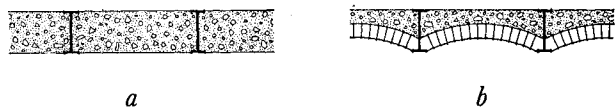


Fig. 91.

## Etageadskillelser.

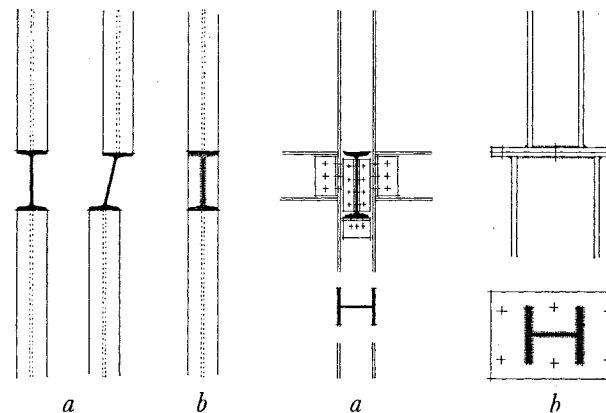


Fig. 92—93.

Søjler.

Afbrudte Søjler.

I en Bygnings øverste Bjælkelag kan Bjælkerne føres igennem henover Søjlerne. I de underliggende Etager bør man ikke i Almindelighed lade Bjælkerne være gennemgaaende og afbryde Søjlerne. Hvis en saadan Konstruktion alligevel benyttes, maa man ikke alene sørge for, at Søjlerne baade under og over Bjælkerne er forsvarligt fastgjort til disse, men ogsaa, at Bjælkerne er stivet af mellem Flangerne. Paa Fig. 92a ses en uheldig Udførelse, der kan have den viste Udknækning til Følge, medens Fig. 92b viser en afstivet, svejset Udførelse.

Gennemgaaende  
Søjler.

Bedst er det at lade Søjlerne være gennemgaaende og fastgøre Bjælkerne paa Siden af dem. Paa Fig. 93a er vist en nittet Forbindelse mellem Søjle og Bjælker med **I**-Form. Hvis Søjlen gaar igennem mange Etager, maa den naturligvis sættes sammen af flere Stykker. I Reglen aftager Dimensionerne opefter, hvor Belastningen bliver mindre. Et Stød kan f. Eks. udføres som vist paa Fig. 93b, hvor der til hver af de to Søjleender er paasvejset en Plade. De to Plader kan ved Montagen samles med Bolte.

Paa Grund af Staalets ringe Modstandsevne under en Brand og ogsaa af æstetiske Hensyn omstøbes Staal-søjler i Beboelses- og Kontorejendomme praktisk taget altid.

Spærfag.

En bærende Tagkonstruktion kan bestaa af en Række plane Dragere, Spærfag, hvorpaa Understøtninger, Aase,

## Spærfag.

### Rumlig Stabilitet.

for Tagdækningen hviler. Paa Fig. 94 er vist en saadan Konstruktion med Aase af Z-Profil.

For at faa Konstruktionen rumlig stabil overfor Kræfter paa langs af Bygningen, er det nødvendigt at anbringe et Gitter mellem et (eller flere) Par Aase. De øvrige Spærfag støtter sig gennem Aasene til det stabile Spærfagspar.

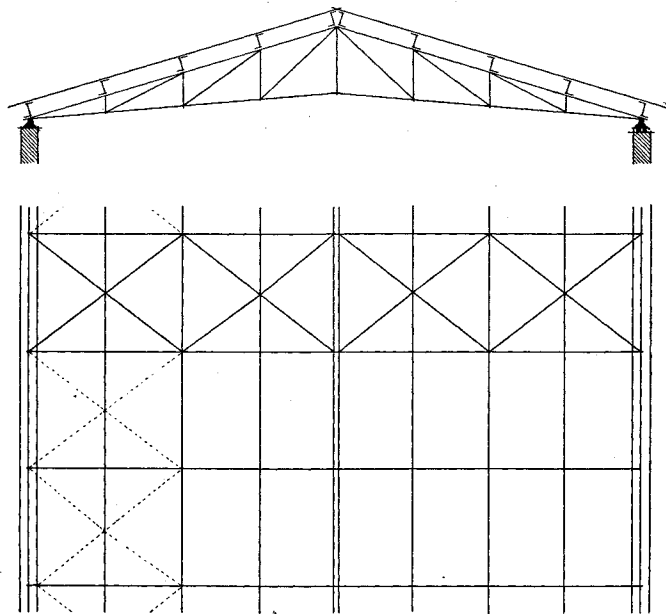


Fig. 94.

Hvis Længdemurene ikke kan optage de vandrette Vindkræfter paa tværs af Bygningen, kan disse overføres til Gavlene af en Drager, der dannes ved at anbringe et Gitter mellem et Par Aase som vist med punkteret Streg paa Fig. 94. I Mod-sætning til Længdemurene bliver Gavlene herved paavirket af Kræfter i deres eget Plan, og over for en saadan Paavirkning er en Mur meget modstandsdygtig (Skivevirkning).

Hvis Gavlmurene bestaar af Staalbindingsværk med Udfyldningsmur, maa der anbringes Vindkryds i Gavlenes Planer.

### Belastninger.

Den normale Belastning, som et Spærfag skal beregnes for, er Egenvægt, Sne og Vind. Vinden kan frembringe en

betydelig Sugning, som ikke altid bliver taget med i Betragtning. Det hænder da heller ikke saa sjældent, at Taget blæser af en Bygning. Det er især de tætte Tage, der er i Fare, idet Trykforskellen paa den udvendige og indvendige Side af et mindre tæt Tag, f. Eks. med Teglstensbeklædning, hurtigt udlignes. Belastningsnormerne fordrer, at et Tag skal kunne modstaa en Sugning paa 64 kg/m<sup>2</sup>. Hvis

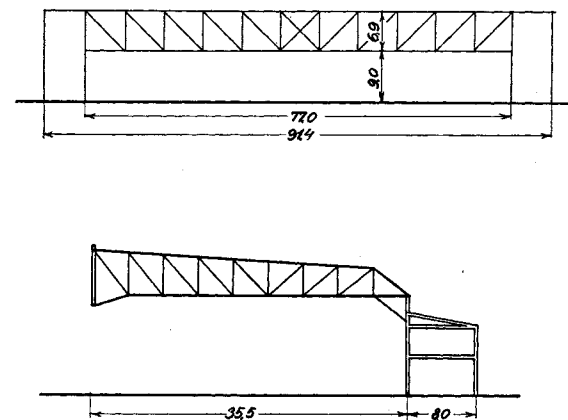


Fig. 95.

et Tag i sig selv vejer mere end 64 kg/m<sup>2</sup>, er der naturligvis ingen Risiko. Det vil sige, at et Tegltag som Helhed alene af den Grund ikke er i Fare for at blæse af.

Paa Fig. 95 ses den bærende Konstruktion i Hangar B i Kastrup Lufthavn. Her maa hverken være indvendige Søjler eller Søjler i den ene Væg, som i hele sin Længde fungerer som Port. Taget bæres af Gitterspærfag, der som vist nederst i Fig. 95 i den ene Ende understøttes paa Bygningens Bagvæg og i den anden Ende af en Gitterdrager, der ligger over Portaabningen, og som har en Spændvidde paa 77 m og en Højde paa 7 m.

I Stedet for at anvende Gitterspærfag kan der anvendes mindre sammensatte Former. Fig. 96 viser saaledes et Spærfag med Spændvidde 16 m i General Motors Fabrik i København. Det er udført af stive Profiler I NP 30 med et Trækbaand bestaaende af 2 NP 14. Trækbaandet kunde

## Spærfag.

### Eksempler paa Spærfag.

*Spærfag i Hangar i  
Kastrup.*

*Se N. J. Manniche:  
Den nye Hangar i  
Kastrup Lufthavn.  
»Ingeniøren» 1937,  
23. Okt.*

*Spærfag i General  
Motors Fabrik.*

## Spærfag.

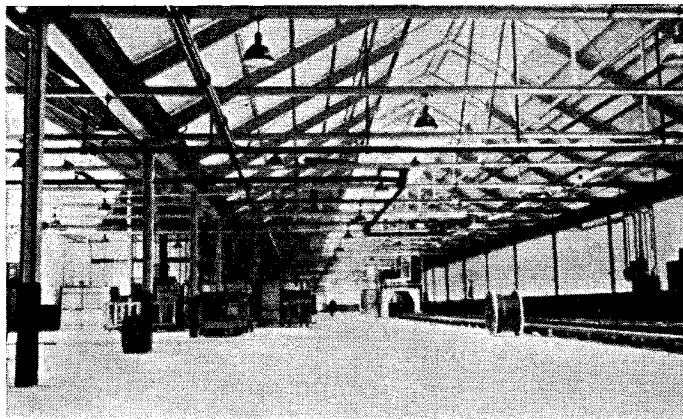


Fig. 96.

i og for sig godt være spinklere, men det var i dette Tilfælde en Fordring, at man skulde kunne hænge en Byrde af en vis Vægt op i det. Spærfaget blev tillige projekteret som en Gitterkonstruktion. Da det viste sig, at Prisen blev den samme som for den mere massive Konstruktion, blev den sidstnævnte valgt, fordi den fylder mindst, virker roligere og fordi den koster mindst i Vedligeholdelsesudgifter.

## Shedtag.

Paa Fig. 97 ses andre Spærfagsformer, til venstre et Shedtag, hvor Ovenlyset anbringes omtrent lodret. Hvis det vendes mod Nord, giver det et jævnt Lys uden direkte Sol, hvilket er af Betydning for mange Virksomheder, f. Eks. i Tekstilindustrien. I Konstruktionen til højre er samme Vinduesanbringelse opnaaet ved Udformning af en særlig Opbygning paa et almindeligt Spærfag.

En Shedtagskonstruktion behøver ikke at understøttes af Søjler. I Stedet for de i Fig. 97 til venstre viste Spærfag kan der i hver af Tagfladens Planer anbringes Gitterdragere, der spænder fra Gavl til Gavl.

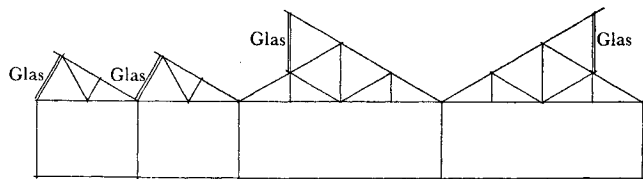
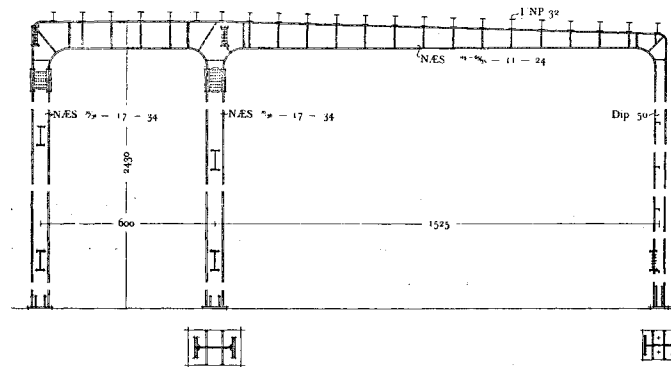


Fig. 97.

De under Jernbetonafsnittet omtalte Ramme- og Buekonstruktioner kan i og for sig lige saa godt udføres i Staal. Da disse Konstruktioners statiske Virkemaade er omtalt under nævnte Afsnit skal her blot fremdrages nogle Eksempler.

Fig. 98 viser en Tegning af den øverste Del af en Ramme over to Fag. En Række af saadanne Rammer udgør den bærende Hovedkonstruktion i Kedelbygningen i Elektrici-



Rammer i Masnedøværket.

Se Chr. Nøkkentved: Masnedøværket.

»Dansk teknisk Tidsskrift«, 1942, Nr. 1.

Fig. 98.

tetsværket paa Masnedø. Rammen er dels bygget af færdigvalsedede I-formede Profiler, Dip.-Profiler, og dels af Næseprofiler, som bestaar af I-formede svejste Profiler med et Tværsnit som paa Fig. 88c, idet dog Flangerne paa det Sted, hvor de skal svejses til Kroppen, har et lille Fremspring, som er hensigtsmæssig for Svejsningen. Et Næseprofil har den Fordel fremfor et færdigvalset Profil, at Kroppen kan formes, som man ønsker det, saaledes at man let som her i Overliggeren kan faa variabel Højde, og Udformningen af et Parti som ved Rammebenets Tilslutning volder heller ingen Vanskeligheder.

Rammebenene og Overliggeren er hver for sig udført paa Jorden og — for at undgaa Montagesvejsning — derefter samlet med Nitter, som det ses i Fig. 98. Spændvidden i de to Fag er 6 m og 15 m, Højden er godt 24 m.

## Rammer og Buer.

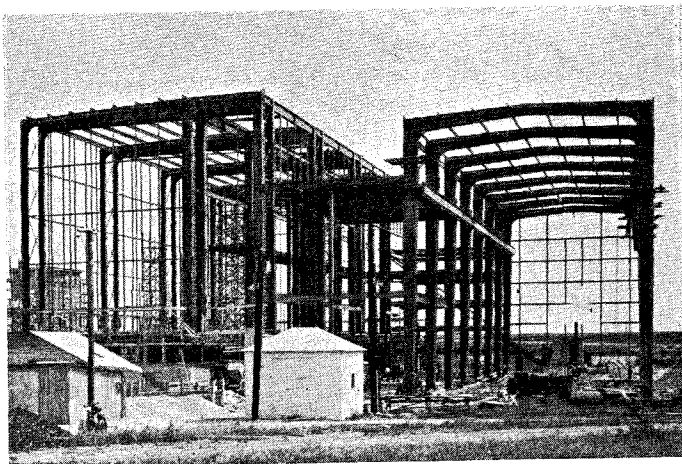


Fig. 99.

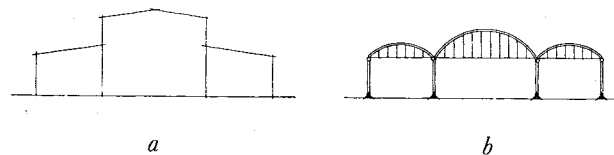
Paa Fig. 99 ses Kedelhusets Rammekonstruktion til venstre, medens en to-søjlet Ramme, der indgaar i Værkets Maskinhus, ses til højre.

*Rammer i Støberihal i Frederiksværk.*

Fig. 100 viser et andet Eksempel paa en Rammekonstruktion i et Støberi i Frederiksværk. Spændvidden er 20 m. Ogsaa her er benyttet sammensvejsede Profiler med variabel Højde.



Fig. 100.



## Rammer og Buer.

Fig. 101.

*Rammekonstruktion i treskibet Bygning.*

Paa Fig. 101a er vist en Rammekonstruktion i en treskibet Bygning. Mellemsøjlerne kan udelades, hvis der i de lodrette Sider mellem Tagfladerne anbringes Dragere, der spænder mellem Bygningens Gavle. Hvis disse Flader, hvad der næsten altid er Tilfældet, er forsynede med Vinduer, maa Dragerne udformes som Gitterkonstruktioner.

Paa Fig. 102 er vist en Række Buer, anvendt i en Banegaardshal. Buerne er her udformede som nittede Konstruktioner med et Tværprofil som vist i Fig. 88a. De spinkle Søjler mellem Buerne kan ikke optage nogen vandret Kraft af Betydning, men da de to lige store Buer, som støder sammen paa en Søjle, normalt har lige store Horisontaltryk, vil Søjlen kun blive paavirket af det Differenstryk, der kan fremkomme, naar den ene Bue fra en uensformig fordelt Sne- eller Vindbelastning bliver lidt stærkere belastet end den anden. De yderste Søjler, der bliver paavirket af

*Buer i Banegaardshal.*



Fig. 102.

## Rammer og Buer.

### Gitterkonstruktioner.

hele Horisontalkraften fra en Bue, maa udføres saa svære, at de kan optage denne Kraft.

Hvis Buerne har forskellig Spændvidde, kan Horisontaltrykket ogsaa paa Mellemsøjler blive betydeligt. Bøjning i Søjlerne fra Horisontalkræfter kan helt undgaas, hvis Buerne udføres med Trækbaand som vist paa Fig. 101b.

Alle de her nævnte massive Konstruktioner kan naturligvis ogsaa udformes som Gitterkonstruktioner, men fylder da i Reglen mere og vil med deres fligede Profiler sjældent have saa tiltalende et Udseende som de rolige massive Dragere. Man foretrækker nu oftest en massiv Udformning, men man kan ikke se bort fra, at en Gitterkonstruktion i visse Tilfælde, navnlig naar det drejer sig om store Spændvidder, hvor en massiv Konstruktion kan virke meget tung, maa foretrækkes. Ogsaa af økonomiske Grunde. Medens et massivt Profil af lille Dimension i Reglen er billigere end en Gitterkonstruktion, fordi Materialbesparelsen ved den sidste ikke kan kompensere de forøgede Udgifter ved Arbejdet, kan Forholdet være det modsatte i en større Konstruktion.

Gitterbuer i Luftskeibshal.

Fig. 103 viser en Række Gitterbuer, der udgør den bæ-

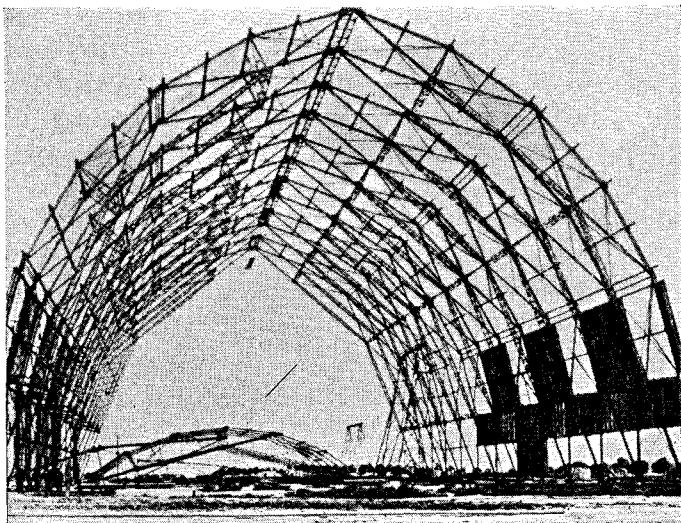


Fig. 103.

rende Konstruktion i en Luftskeibshal, der er af en saadan Størrelse, at massive Profiler utvivlsomt vilde blive dyrere og virke tungere end de spinkle Gitterbuer.

Foruden Rammer eller Buer indgaar der i den bærende Konstruktion Elementer, der tjener til at sikre den rumlige Stabilitet. Vindkræfter, der virker parallelt med Rammer eller Buer, kan i Reglen optages direkte af disse Konstruktioner, medens en vandret Belastning, der angriber vinkelret paa f. Eks. en Ramme, ikke kan optages af denne alene. Derimod kan et Rammepar, der af Gitre i Taget og i

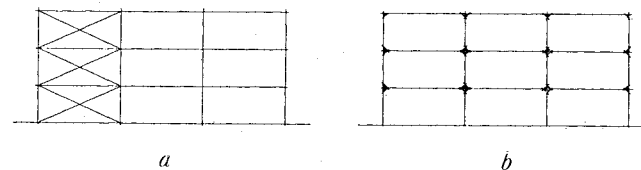


Fig. 104.

Siderne er stift forbundet, saaledes at de danner et stabilt rumligt System, optage vandrette Kræfter. De øvrige Rammer behøver ikke at være stabile, de vandrette Kræfter, som paavirker dem, kan gennem de Bjælker, som i Almindelighed findes i Forvejen, overføres til det stabile System. Paa Fig. 104a, hvor Rammerne ses fra Siden, er vist en Anordning som den her nævnte. I Stedet for en Afkrydsning kan man, hvis Længdebjælkerne er tilstrækkelig svære, forbinde disse stift med Rammerne, saaledes at der ogsaa i Længderetningen er dannet et Rammesystem, som i sig selv er i Stand til at modstaa vandrette Kræfter (Fig. 104b).

Et Staalskelethus som det i Fig. 104 viste har flere af de tidligere nævnte Fortrin, som et Jernbetonskelethus besidder fremfor en Bygning af Murværk. Murene kan gøres tyndere, Pillebredderne mindre, Vinduesrækker udføres gennemgaaende. Konstruktionen kan smidigt føje sig efter Brugskravene. Ogsaa andre Forhold taler til en Staalskeletbygning Fordel: Bygningen kan udformes og planlægges saadan, at Byggetiden bliver mindre end ved andre Bygge-

## Rammer og Buer.

### Rumlig Stabilitet.

## Staa-skelethuse.

### Forskellige Fortrin.

Kort Byggetid.



## Staal-skelethuse.

maader, idet alle Elementer paa Forhaand kan gøres færdige og kun under Opførelsen behøver at samles. Kendt er Fablerne om det forbavsende Tempo, hvormed U. S. A.'s Skyskrabere skyder i Vejret. Og vist er det, at en gennemgribende Standardisering af Staalprofiler og deres Samlinger i Forbindelse med eksisterende Tabelværker og Standardarbejdstegninger har reduceret saavel Projekterings- som Bygningsarbejdet i en ganske utrolig Grad.

*Ringe Vægt.*

Hvis Fundamenteringsforholdene er daarlige, er det fordelagtigt, at en Staalskeletbygning, hvis den udføres med tynde Udfyldningsmure, har en relativ lille Vægt.

*Ændringer foretages let.*

Værdifuldt er det ogsaa, at Udvidelser og Ændringer i hvert Fald i Sammenligning med Forholdene i en Jernbetonkonstruktion let kan foretages.

**Anvendelses-  
omraade.**

Til Kontor- og Beboelsesejendomme har Staalskeletbygninger her i Landet i faa Tilfælde fundet Anvendelse (Vesterport i København). I Fabriksbygninger, Banegaardshaller o. lign. er Staalkonstruktioner derimod benyttet i stor Udstrækning. Adskillige Eksempler er nævnt i det foregaaende.

**Udfyldning af  
Felterne.**

Felterne mellem de bærende Staalelementer udfyldes i Reglen med Murværk. Hvis der benyttes en Halvstensmur, bør Felterne, som skal overføre Vindbelastningen til Staalkonstruktionen, ikke være større end 7—8 m<sup>2</sup>, og der maa derfor i Almindelighed indskydes sekundære Søjler og Bjælker mellem Hovedkonstruktionens Elementer. Hvis Søjleafstanden ikke er over 1,5 m, behøves ingen sekundære Bjælker. De sekundære Led kan fordelagtigt udføres af I- eller C-Jern NP Nr. 14, da Halvstensmuren saa netop kan passeres ind imellem Flangerne.

I en Beboelses- eller Kontorejendom er det nødvendigt at isolere en Halvstensmur, som i sig selv ikke yder tilstrækkelig Isolering. I Stedet for Mur + Isolering foretrækker man ofte at anvende en tykkere Mur, almindeligst en 1½ Stens Hulmur. Felterne kan da udføres i Størrelse paa 20—25 m<sup>2</sup>. Naar Søjleafstanden er mindre end 3 m, er sekundære Bjælker unødvendige.

I visse Lagerbygninger og Fabrikker, hvor Væggens Isoleringsevne er underordnet, kan anvendes Bølgeblik, Eternit o. lign.

## Staal-skelethuse.

### Kupler.

En bærende Staalkonstruktion over et Rum med cirkelformet eller polygonalt Grundrids kan udformes som en Ribbekuppel eller som en Gitterkuppel.

#### Ribbekupler.

En Ribbekuppel bestaar af stive Buer, der i Almindelighed er forbundet med Ringe. I hvert Fald er det næsten altid nødvendigt langs Buernes Vederlag at have en Ring, et Trækbaand, der kan optage de vandrette Horisontalkræfter.

*Se nærmere herom hos Chr. Ostenfeld: Beregning af Ribbekupler. »Bygningsstatistiske Meddelelser» 1936, S. 1.*

Paa Fig. 105 er vist et Fotografi af Ribbekuplen over Fyns Forum i Odense. Foruden den omtalte Trækning, er Kuplen forsynet med flere Ringe, der forøger Stivheden i hele Konstruktionen, og som understøtter sekundære Spær, der er anbragt mellem Hovedbuerne. Disse Buer løber ikke sammen i Toppunktet, men er væsentligt af æstetiske Grunde afbrudt saadan, at der i Midten fremkommer et ubrudt rundt Ovenlys, begrænset af en Staalring. Denne Ring understøtter Buerne og skal ligesom Vederlagsringen optage Horisontaltrykkene, der her virker ind mod Ringens Centrum, d. v. s. Ringen bliver trykket.

*Ribbekuppel i Fyns Forum.*



Fig. 105.

## Kupler.

Paa Grund af Vederlagsringen er Murene fra lodret Belastning kun paavirket af lodrette Tryk. Fra Vindbelastning bliver de paavirket af vandrette Kræfter. For at faa disse optaget, er den nederste Del af Kuplen udformet som en Gitterkonstruktion, der bevirker, at Kuplen langs Murkanten fungerer som et stift Hele. Muren bliver derved paavirket i hele sin Omkreds af vandrette Kræfter i Vindretningen, men da den er særlig stiv paa de Steder, hvor den paavirkes af Kræfter i sin egen Plan (Skivevirkning), altsaa der, hvor dens Tangentplaner er parallelle med Vindretningen, vil Vindbelastningen optages her, fordi Muren paa den øvrige Omkreds, hvor den er mindre stiv, vil give efter for en Paavirkning.

Ringmuren bestaar af en Række Jernbetonsøjler med Udfyldningsmurværk imellem.

Kuplen er usædvanlig flad. Medens Diameteren er 42 m,

er Pilhøjden kun 5 m, d. v. s.  $\frac{f}{l} = \frac{1}{8,4}$ . I Almindelighed anvender man Pilforhold mellem  $\frac{1}{3}$  og  $\frac{1}{6}$ .

## Gitterkupler.

I en Gitterkuppel findes der foruden Buer og Ringe til-lige Diagonaler, og i Modsætning til Forholdene i en Ribbe-

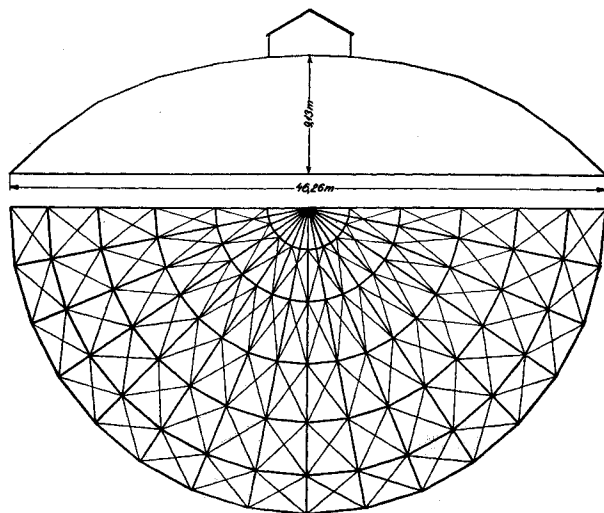


Fig. 106.

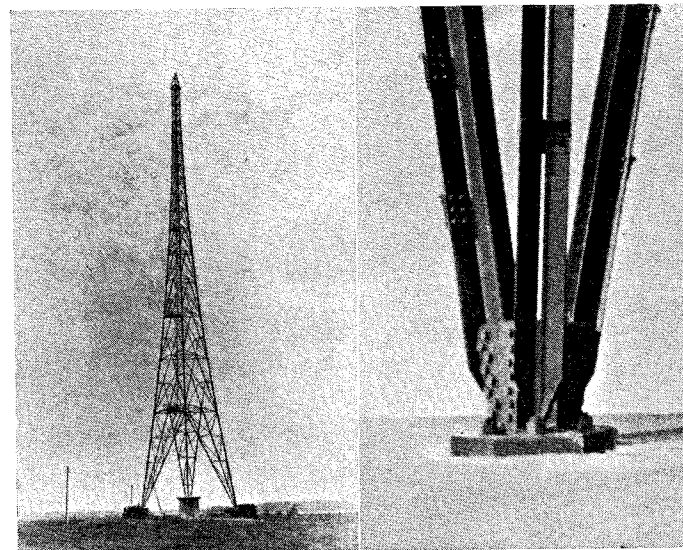


Fig. 107.

kuppel bliver ingen Stænger her paavirket til Bøjning, men kun til Træk eller Tryk.

I Fig. 106 er vist en Gitterkuppel i vandret Projektion og i Snit. For en jævnt fordelt lodret Belastning vil alle Buer faa Tryk, alle Ringe Træk, medens Diagonalerne er uvirksomme.

For vandrette Kræfter vil Paavirkningerne af de forskellige Stænger variere mellem Træk og Tryk paa en Maa-de, der er afhængig af Understøtningens Art, og Dia-gonalerne vil træde i Funktion.

De vandrette Kræfter optages af de Partier af Ring-muren, hvis Tangentplan er parallel med Vindretningen.

Her skal blot som et enkelt Eksempel vises en Radiomast i Kalundborg (Fig. 107). Den er 100 m høj og ud-ført som en Gitterkonstruktion med trekantet Tværsnit, som det ses paa Figuren. Sidelinien i Trekanten er 20 m forneden og 2,5 m i Toppen. De væsentlige Belastninger paa Masten er Vindtryk og Antennetræk. Til højre paa Figur 107 er vist et Nærbillede af Mastens ene Fod.

## Kupler.

### Taarne og Master.

Radiomast i Kalundborg.

Masten er udførlig om-talt hos Chr. Nøkkent-ved: Radiomaster. »Ingeniøren». 1928, 14. Juli.

## TRÆKONSTRUKTIONER

Om Træsorter og deres Egenskaber, se E. Suen-son: Byggematerialer II, København. 1922.

Det er i Almindelighed billigere at bygge af Træ end af Staal eller Jernbeton. Til Gengæld er Træ lettere for-gængeligt end disse Materialer, men det kan dog, naar det er effektivt beskyttet, opnaa en Alder paa adskillige Hundrede Aar, og i de fleste Tilfælde er det vel i og for sig tilstrækkeligt.

### Materialet.

Træ bestaar hovedsagelig af brændbare, organiske Stoffer med en ringe Mængde mineralske Forbindelser, som er vigtige Næringsmidler for Svampe, der kan angribe og øde-lægge Træet. Det indeholder altid selv i tilsyneladende tør Tilstand en Del Vand.

Vaadt Træ er af flere Grunde uheldigt som Byggemate-riale, det »skaar sig« og er let udsat for Angreb af forskellige Organismer. Det er derfor vigtigt, at alt Træ, der benyttes, er saa tørt som muligt. Det bør være fældet om Vinteren, hvor der er mindst Safter i Veddet og være lagret i længere Tid, f. Eks. et Aar. Under Tørringen svinder Træet, og der kan opstaa Svindrevner, som naturligvis ikke ligefrem influerer heldigt paa Træets Styrke.

Den inderste Del af en Træstamme, Kærnen, er den fasteste og mest holdbare Del af Træet, medens det om-givende Ved, Splinten, er af ringere Kvalitet.

Træ, der ikke befinder sig i Vand, er særlig udsat for An-greb fra to Sider: Svampe og Insekter (f. Eks. Husbukke). En Forraadningsproces skyldes Svampeangreb. Naar Træ er fuldstændig beskyttet mod disse to Grupper Ødelæggere, er det praktisk taget uforgængeligt. Den vigtigste Forholds-regel er Anvendelse af tørt Træ. Indendørs Konstruktioner

Træets For-gængelighed.

staar sig derfor langt bedre end udendørs. En Mængde gamle Træbroer er beskyttet mod Regn af et Tag. Behand-ling af Træet ved Maling, Tjæring, Imprægnering o. s. v. kan i hvert Fald til Dels hindre Ødelæggelse.

Vort almindeligste Skovtræ Bøg benyttes ikke meget som Bygningstømmer. Eg er bedre, Fyr og Gran billigere.

Eg er et fortrinligt Byggemateriale, stærkt og holdbart, og det bruges i Konstruktioner, hvor der er Grund til at lægge Vægt paa disse Egenskaber.

Af økonomiske Grunde benyttes Gran og Fyr i langt større Udstrækning her i Landet. Af dansk Gran faas en Del Tømmer, medens alt Fyrretømmer praktisk taget kom-mer fra Udlandet. Det er især svensk og pommersk Fyr, der benyttes, og til specielle Konstruktioner Pitchpine, et amerikansk Fyrretræ, som kan leveres i større Dimensioner end noget andet Naaletræ.

De danske Normer angiver følgende tilladelige Paavirk-ninger for Træ, der anvendes i Husbygning:

	Fyr, Gran kg/cm <sup>2</sup>	Bøg, Eg kg/cm <sup>2</sup>
Træk. Bøjning $\approx$ Fibrene . . . . .	90	110
Tryk $\approx$ Fibrene . . . . .	60	80
Tryk $\perp$ Fibrene . . . . .	15	35
Forskydning $\approx$ Fibrene . . . . .	10	12
Forskydning $\perp$ Fibrene . . . . .	30	35

Elasticitetskoefficienten for Paavirkning paa langs af Fib-rene kan sættes til 100000 kg/cm<sup>2</sup>, altsaa ca. 20 Gange mindre end Staals. En Træbjælke har derfor en Nedbøj-ning, der er 20 Gange større end Nedbøjningen af en Staal-bjælke med samme Længde, Inertimoment og Belastning.

Styrken i Træ ligger hovedsagelig i Fibrenes Længderet-ning. Tryk vinkelret paa Fibrene, Tryk paa Sidetræ, optages derfor vanskeligt. De fleste Sætninger i gamle Konstruk-tioner skyldes Knusning af Træ, der er paavirket paa Siden.

### Materialet.

Almindelige Træsorter.

### Tilladelige Paavirkninger.

»Normer for Træ-konstruktioners. Foreligger ved denne Bogs Udarbejdelse endnu kun som Forslag.

## Forbindelser.

Nærmere herom hos  
Felix Fonrobert:  
*Grundzüge des Holzbaues im Hochbau.*  
Berlin. 1942.  
Se ogsaa Laboratoriet  
for Bygningsstatik:  
*Forsøg med Træforbindelser.* »Bygningsstatiske Meddelelser».  
1944. S. 29.

De ældre haandværksmæssige Sammenskæringer, Bladsamlinger, Tappe, Forsats o. s. v., som har været anvendt i Aarhundreder, giver ofte meget enkle og smukke Knudepunkter. Men videre hensigtsmæssige er de ikke, hvis det drejer sig om Samling af Stænger, hvori Materialet er fuldt udnyttet til Træk eller Tryk. Trækkræfter af nogen Betydning kan i det hele taget ikke overføres, og store Trykkræfter kan vanskeligt optages i en saadan Forbindelse, hvor en Del af Stangens Materiale er bortskaaret.

En anden Ulempe ved Træs Anvendelse er den Begrænsning i Bjælkedimensionerne, der sættes af Skovtræets Størrelse.

Paa Grund af disse Forhold traadte Træ derfor med Staal- og senere med Jernbetonkonstruktioners Fremkomst tilbage som dominerende Materiale i større, fritbærende Konstruktioner.

Med de sidste Aartiers Udvikling af Metoder til Sammensætning af Træelementer ser det imidlertid ud til, at Anvendelse af Trækonstruktioner vil faa et Opsving. Der er ingen Tvivl om, at dette Materiale nu vil kunne konkurrere med Staal og Jernbeton paa mange Omraader, hvor det tidligere var udelukket.

Uden at komme ind paa Enkeltheder i Træforbindelser, hvorom Oplysninger kan søges andre Steder, skal der her fremsættes nogle Betragtninger over de Metoder, der i den nyere Tid er traadt i Forgrunden.

I og for sig har Søm været benyttet i Aarhundreder. Men man har betragtet Sømforbindelser med en vis Skepsis og hovedsagelig anvendt dem i interimistiske Konstruktioner. De senere Aars Laboratorieforsøg har imidlertid vist, at Søm i mange Tilfælde er et overordentligt rationelt og anvendeligt Forbindelsesmiddel.

En Dorn bestaar af en Rundjernsstang. Den drives ned i et Hul, der er boret i Forvejen, og som er lidt mindre i Diameter end Dornen, saaledes at den sidder fuldstændig fast.

Den 125 m høje fritstaaende Radiomast i Herstedvester

(Fig. 121) er f. Eks. samlet udelukkende ved Anvendelse af Dorne. To Aar efter Opførelsen blev en Del af Forbindelserne undersøgt, idet Dornene ved Hjælp af en Skruepresse blev presset ud. Man kunde maaske vente, at Dornenes Virkning var blevet nedsat i Løbet af de to Aar, hvor Masten under svære Storme havde været udsat for ret store Svingninger. Men det viste sig, at hverken Dorne eller Træ havde taget den ringeste Skade.

I de fleste Tilfælde vil man dog i Stedet for Dorne anvende Bolte, som er forsynet med Hoved og Møtrik.

Naar man belaster en Bolteforbindelse med stigende Belastning, vil den i Begyndelsen virke som en Dornforbindelse. Men naar Bolten flyder, vil Hoved og Møtrik komme i Funktion, og Bolten vil nu foruden sin Dornvirkning optræde som en Trækstang, der af Hoved og Møtrik er fastholdt i sine Endepunkter. Forbindelsen vil først gaa i Stykker, naar Bolten har naaet sin Brudgrænse, i Modsætning til Dornforbindelsen, hvor Dornens to Ender paa Flydestadiet vil trækkes ind gennem Hullerne i Træet. Man kan derfor sætte den tilladelige Paavirkning højere for en Bolt end for en Dorn, selvom den i intet Tilfælde maa naa Flydegrænsen, der svarer til en uforsvarlig stor Glidning mellem Træstykkerne.

Hvis Kræfterne, der skal overføres, er betydelige, vil man i Reglen forsyne Bolteforbindelserne med Indlæg som Gitterklør, Bulldogs o. s. v., der bestaar af Metalbrikker, forsynet med Tænder, Spidser, Riller eller lign. Naar Brikkerne lægges imellem to Træstykker, som skal forbindes, trænger Fremspringene ind i dem begge, idet Boltene spændes, hvorved en indbyrdes Glidning mellem de to Stykker hindres.

Den Udvikling af Limforbindelser, der i de sidste Aartier har fundet Sted, har muliggjort, at man i Dag med Tillid anvender Limning selv i vigtige Konstruktionsled. Endnu anvendes Lim dog sjældent i egentlige Knudepunktsforbindelser, det er hovedsagelig til Sammensætning af flere Træelementer til eet massivt Profil, at Lim bliver benyttet. Herom mere i det følgende.

## Forbindelser.

**Bolte.**

**Indlæg.**

**Lim.**

**Søm.**

**Dorne.**

## Massive Bjælker.

### Bjælker i eet Stykke.

Et enkelt Stykke Tømmer er den simpleste og mest anvendte Form for en Træbjælke. Har en Bjælke med rektangulært Tværnsnit, Bredden  $b$  og Højden  $h$ , er Modstandsmomentet  $W$ , der er proportionalt med Bæreevnen, som bekendt givet ved  $W = \frac{1}{6}bh^2$ . Det er altsaa fordelagtigt at lade Højden være saa stor som mulig paa Bekostning af Bredden, Bjælken bærer bedst paa Højkant. Naar Forholdet  $\frac{h}{b}$  bliver for stort, er der Fare for Kæntring, hvis Bjælken ikke paa en eller anden Maade er holdt fast. I

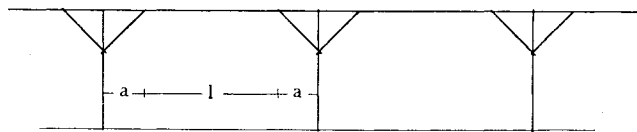


Fig. 108.

et almindeligt Træbjælkelag er Bjælkerne styret af Forskallingen. Naar man alligevel bruger saa bredt et Tværnsnit som f. Eks.  $7'' \times 7''$ ,  $6'' \times 7''$ ,  $6'' \times 8''$ , hænger det til Dels sammen med, at disse Dimensioner er billigere pr.  $m^3$  end Planker.

### Kopbaandskonstruktioner.

Naar Forholdene tillader det, formindsker man tit en lidt stor Spændvidde ved Udførelse af en Kopbaandskonstruktion, som ses paa Fig. 108.

Det statiske System er ret kompliceret, og Beregningen forenkles derfor i Reglen ved Indførelse af visse Forudsætninger. Det er saaledes almindeligt og paa den sikre Side, at regne Bjælken overskaaret lige over de lodrette Søjler, og derefter betragte den som en simpelt understøttet Bjælke med Spændvidde  $l$  og med udkragede Ender af Længden  $a$ .

### Sammensatte Bjælker.

Hvis et enkelt Stykke Tømmer ikke slaar til, kan man lægge to Stykker ved Siden af hinanden eller det ene ovenpaa det andet. To lige store Stykker Tømmer bærer naturligtvis dobbelt saa meget som det ene Stykke, men hvis man lægger et Stykke Tømmer ovenpaa et andet og forbinder de to Stykker, saa de virker som et massivt Stykke Tømmer med dobbelt Højde, bliver Modstandsmomentet

$\frac{1}{6}b(2h)^2 = 4 \cdot \frac{1}{6}bh^2$ , d. v. s. Bæreevnen bliver 4 Gange saa stor som for eet Stykke Tømmer. En saadan Forøgelse finder kun Sted, hvis Forbindelsen mellem de to Bjælkestykker er fuldstændig, saaledes at de ikke kan glide paa hinanden. Forbindelsen kan foretages med Lim eller med Bolte + Indlæg.

Hvis en sammensat Bjælke er kontinuert over flere Fag, bliver Momentet over Understøtningerne særlig stort, og i Stedet for paa hele Strækningen at benytte et Profil, der

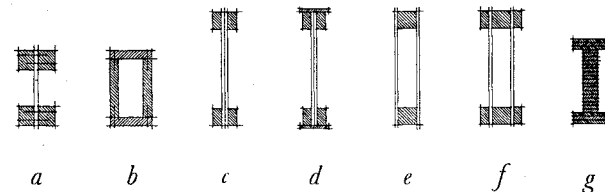


Fig. 109 a—g.

kan optage Understøtningsmomentet, kan man anbringe et ekstra Stykke Tømmer over Understøtningerne.

Den ovenfor omtalte Maade at sammensætte en Bjælke paa er ikke altid økonomisk, da den Del af Profilet, der ligger i Nærheden af Midten, kun giver et ringe Bidrag til Bæreevnen. Det kan derfor ofte betale sig at koncentrere saa meget Materiale som muligt i Bjælkens yderste Dele, som man gør det ved de kendte I-formede Profiler i Staal. Paa Fig. 109a ses et Træ-I-Profil. Som Forbindelsesmiddel mellem Krop og Flanger kan benyttes Lim, Søm eller Bolte med Indlæg. Limning anvendes tit i Forbindelse med Søm, dels holder Sømmene de to limede Flader fast sammen under Størkningen, og dels danner de en Sikkerhed mod Brud som i en Forbindelse, der kun er limet, kan ske pludseligt, hvis der findes Fejl i Limningen. I Reglen sættes halvt saa mange Søm, som man behøver i en sømmet Forbindelse uden Lim.

Ved at udføre Kroppen i to Dele og flytte disse Dele bort fra hinanden som paa Fig. 109b faas et kasseformet Profil, som har betydelig større Stabilitet mod Udbøjning i Sideretningen end I-Profilet.

## Massive Bjælker.

Hvor det drejer sig om store Spændvidder og Belastninger, og der ikke kan skaffes tilstrækkelig stort Modstandsmoment med de ovennævnte Profiler, hvor Kroppens Højde er lig med Bredden af et enkelt Stykke Tømmer, kan Profilets Højde forøges ved at sammensætte Kroppen af flere Elementer. Den kan f. Eks. udføres af 2 Lag Brædder, der lægges under en Vinkel paa  $45^\circ$  i hver sin Retning, saadan at de krydser hinanden under en ret Vinkel. Flangerne kan f. Eks. bestaa af to Stykker Kwarttømmer, anbragt paa hver sin Side af Kroppen, hvorpaa de sømmes. Kropafstivninger anbringes med passende Mellemlum.

Paa Fig. 109c-f er vist forskellige Variationer af et saadant Profil.

I Stedet for i Flangerne at benytte Tømmer, eventuelt i Forbindelse med et enkelt Bræt som f. Eks. i Fig. 109d, kan man anvende flere Lag Brædder, der lettere forbindes med Kroppen, og som desuden i højere Grad end et Stykke Kwarttømmer kan udføres af udsøgt Træ uden Splint eller Knaster. Efter dette Princip er de saakaldte H. B.-Bjælker konstrueret. Forbindelse af Flangernes enkelte Dele er foretaget ved Hjælp af vandbestandigt Lim sammen med Søm. Kroppen kan f. Eks. være sammensat af 1" Brædder, medens Flangernes Elementer kan bestaa af 1" eller  $1\frac{1}{2}$ " Brædder.

Paa Fig. 115 er vist en Rammekonstruktion, udført efter H. B.-Systemet.

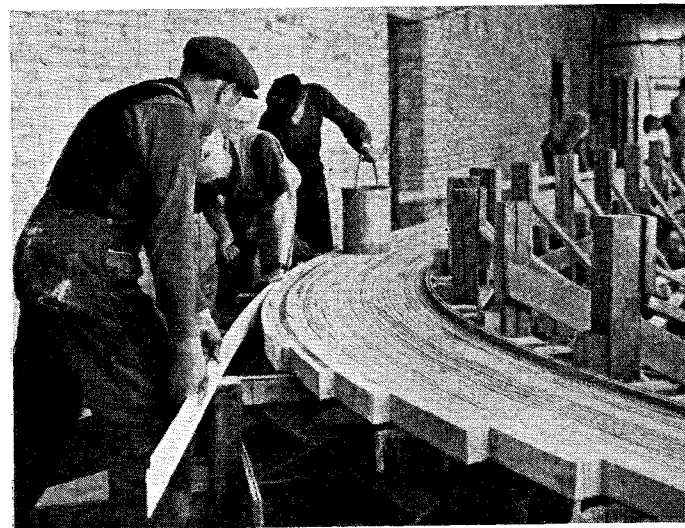
En anden Maade at sammensætte et I-Profil paa er vist i Fig. 109g. Bræddetykkelsen er i Almindelighed omkring 1", og Sammenføjningen kan foretages udelukkende ved Hjælp af Lim. Limningen maa naturligvis foretages meget omhyggeligt, og de limede Bjælker maa under Størkningen være sammenspændt med Skruetvinger.

Metoden er oprindelig indført af den tyske Tømrer Otto Hetzer, og den gaar under Navnet System Hetzer. Der findes iøvrigt andre Systemer efter samme Principper, f. Eks. det svenske Töreboda System, der bestaar af sammenlimede 1" Granbrædder. Foruden af Limen holdes den færdige Konstruktion sammen af lange Bolte, som ligger

*H. B. Systemet.*

*Hetzer Systemet.*

*Töreboda Systemet.*



*Fig. 110.*

paa begge Sider af Kroppen, og som gaar fra Flange til Flange. Naar Konstruktionen f. Eks. af Transporthensyn maa fremstilles i flere Stykker, sammenlaskes de enkelte Dele af Jernplader som i en Pladejernsdrager. Her i Landet er dette System kendt under Navnet M. H.-Profiltræ.

*M. H. Systemet.*

Ramme- og Buekonstruktionerne i Fig. 114 og 116 er udført efter dette Princip. Paa Fig. 110 ses en sammenlimet Drager under Udførelse.

De her nævnte I-Profiler med en Krop sammensat af Brædder kan uden Vanskelighed udføres med varierende Højde, saadan at man har Mulighed for at variere Tværsnittet i Overensstemmelse med Momentets Forløb. F. Eks. har den paa Fig. 114 viste Ramme variabel Højde med Maksimum i Hjørnet, hvor Momentet er størst.

Med de moderne Knudepunktsforbindelser er der Mulighed for selv paa betydelige Spændvidder at kunne konkurrere med Staalgitterkonstruktioner. Det vanskelige Punkt i ældre Trækonstruktioner var Trækstængernes Tilslutninger, som nu om Stunder ikke volder Besvær.

## Gitter-systemer.

**Forskellige Drager-Systemer.**

## Gitter-systemer.

*Howe Drager.*

I det kendte System *Howe* undgaar man Trækstænger af Træ, hvis Paavirkningerne ikke er helt smaa. I en Parallelgitterdrager kan man f. Eks. lade Diagonalerne stige mod Midten, hvorved man, naar den bevægelige Belastning ikke er for stor, altid faar Tryk i disse. Vertikalerne, som da er Trækstænger, kan udføres af Rundjern med en Møtrik i hver Ende (Fig. 111a). Selv om Systemet især havde sin Berettigelse før de moderne Knudepunktsforbindelser kom frem, bliver det endnu brugt, idet Systemet frem for andre

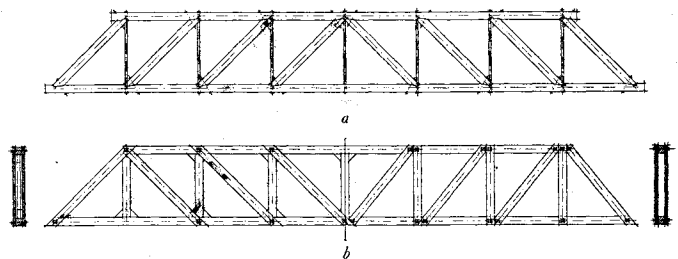


Fig. 111.

har den Fordel, at Sætninger fra Svind eller fra unøjagtigt Arbejde kan fjernes ved Efterspænding af Møtrikkerne.

Hvis der i Diagonalerne kunde komme baade Tryk og Træk, udførte man tidligere Konstruktioner med Kontradagonaler, d. v. s. med krydsende Diagonaler, hvor kun den Diagonal i hvert Fag, der faar Tryk, er i Funktion. Hvis en Ændring af Belastningen medfører, at nogle af disse Diagonaler bliver strakte, vil de paa Grund af Forbindelsernes ringe Evne til at optage Træk give saa meget efter, at de andre Diagonaler i Fagene træder i Funktion og optager Paavirkningerne som Tryk.

*Drager med Træ-Trækstænger.*

I den nyere Tid, hvor Trækstængers Tilslutning ikke volder Vanskelighed, er det ikke nødvendigt at undgaa Trækstænger af Træ i en Gitterdrager. En større Paralleldrager helt af Træ vil man i Dag almindeligvis konstruere efter det paa Fig. 111b viste System, hvor Diagonalerne falder mod Midten, hvorved der i Reglen kommer Træk i Diagonalerne og Tryk i Vertikalerne, en rationel Ordning, fordi Trykstængerne af Hensyn til Udbøjningsfaren

bør være saa korte som muligt. For at opnaa simple Knudepunktsforbindelser vil man ofte give nogle af Stængerne et delt, andre et massivt Profil. F. Eks. vil det være naturligt, som vist paa Fig. 111b, at udføre Hoved og Fod massivt og Diagonalerne i 2 Dele, som griber ind paa hver sin Side af Flangerne. Vertikalerne kan man enten udføre som massive Stænger, som vist i venstre Halvdel af Fig. 111b, eller af et delt Profil, som vist i højre Halvdel. Den sidstnævnte Ordning giver en bekvem Knudepunktsforbindelse, men lider af den Mangel, at Stængernes Midtlinier ikke

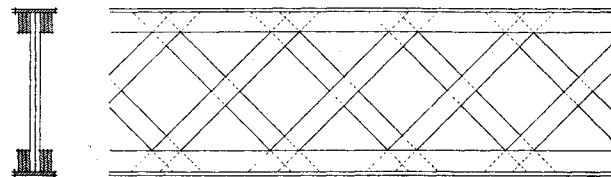


Fig. 112.

skærer hinanden i samme Punkt, hvorved der opstaar sekundære Spændinger. Desuden er Vertikalens Profil her, selv om det med passende Mellemrum er holdt sammen af en Klods imellem de to Dele, ikke saa egnet til at optage Trykkrafter som det massive Profil, der yder større Modstand mod Udbøjning som Søjle. Alligevel benyttes Ordningen ofte, især i mindre Konstruktioner.

Paa Fig. 112 er vist en anden Form for en Gitterkonstruktion, en saakaldt *Stephan-Drager*, der minder om en tidligere omtalt Drager (Fig. 109d). *Stephan-Profilets* Krop er dog ikke massiv, men opdelt i et Gittersystem.

*Stephan Drager.*

I en Gitterkonstruktion vil der altid optræde sekundære Spændinger, fordi et rent Gittersystem, d. v. s. et System, hvor der kun forekommer Tryk og Træk, fordrer, at Stængerne er drejelige i Knudepunkterne. Hvis alle Stænger i en Forbindelse løber sammen i eet Punkt og fæstnes i Punktet med en Bolt, eventuelt i Forbindelse med et ringformet Indlæg, for hvilket der er stemt ud i Træet, kan der være Tale om en vis Drejelighed, men i Praksis vil Friktionen være saa stor, at Drejeligheden kun er yderst

**Sekundære Spændinger.**

## Gitter-systemer.

ringe. Og i hvert Fald, naar der benyttes andre Forbindelsesmidler, Bolte med Gitterkløer el. lign., Søm, der giver en ret stiv Forbindelse eller — sjældent i Knudepunktsforbindelser — Lim, som saa at sige fuldstændig umuliggør Bevægelse, maa der optræde sekundære Momenter, d. v. s. Stængerne maa foruden til Tryk og Træk blive paavirket til Bøjning.

En saadan stiv Konstruktion er dog i Virkeligheden ikke utiltalende, Træprofilerne kan i Reglen optage de opstaaede Bøjningsmomenter, og med Knudepunktsstivheden indføres faktisk en ekstra Sikkerhed for Drageren. Hvis en Stang knækker i en ikke stiv Konstruktion, vil den falde ned, medens en stiv Konstruktion har Mulighed for at klare sig.

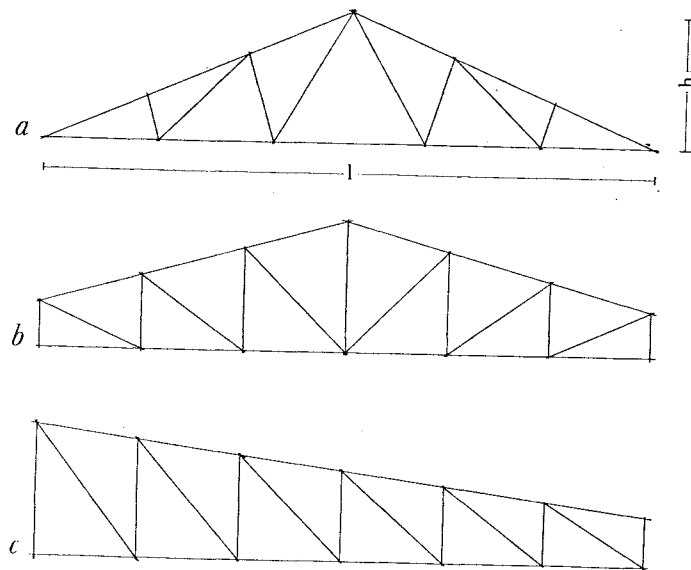
## Interims-konstruktioner.

Træ anvendes overordentlig meget i Interimskonstruktioner, som især i Form af Stilladser har stor Betydning. Træ er billigt, let at tildanne, let at samle og let at skille ad igen. En Stilladskonstruktion udføres i Almindelighed ved Hjælp af Stolper, der paa en eller anden Maade af Brædder eller Planker er stivet af indbyrdes. At det ikke er Smaating af Træ, der kan gaa i en Stilladskonstruktion, vil man forstaa, naar det f. Eks. oplyses, at den samlede Længde af Stolper (5" × 5"), der er gaaet til Stillads ved Udførelsen af den paa Fig. 81 viste Skal i Radiohusets Koncertsal, var over 10 km.

## Spærfag.

I Husbygningen anvendes Gitterbjælker almindeligst i Form af Spærfag som de paa Fig. 113 a, b, c viste Typer, der kan benyttes baade til ganske smaa Huse og til store Haller. I Almindelighed er Foden retlinet, medens Hovedet, hvortil Tagbeklædningen fastgøres, i hvert Fald har en Hældning, der er saa stor, at Regnvandet kan løbe af Taget.

Det paa Fig. 113a viste Spærfag er vel nok det almindeligste. Op til Spændvidder paa ca. 8 m eller op til 12—14 m med en Melleminsterøtning kan Samlingerne udføres med



Spærfag.

Fig. 113.

Søm. Ved større Spændvidder anvendes i Reglen Bolte med Indlæg.

Forholdet  $\frac{l}{h}$  bør ikke være for stort. I Almindelighed bør man vælge  $\frac{l}{h} < 6$  à 8.

De massive Profiler, der tidligere er nævnt, og som er sammensat af mange Træelementer, kan let udformes som en Ramme. En saadan Ramme med en smukt behandlet Overflade kan have et ganske tiltalende Udseende, saa den selv i et repræsentativt Rum kan staa frit. Paa Fig. 114 ses saaledes en Rammekonstruktion udført efter M. H. Systemet. Rummet, der overdækkes, er Aulaen i Skolen paa Skjulshøj Allé paa Frederiksberg. Da Profilet sammensættes af Brædder, der bøjes efter Konstruktionens Form, er det nødvendigt at afrunde Rammens Hjørner (smlg. Fig. 110).

Paa Fig. 115 er vist en Rammekonstruktion med Spændvidde 30 m udført efter H. B. Systemet. Den kan, som det ses, formes med skarpe Knæk.

## Rammer og Buer.

### Massive Profiler.

Aula i Skolen paa Skjulshøj Allé.

Sportshal i Sverige.



## Rammer og Buer.

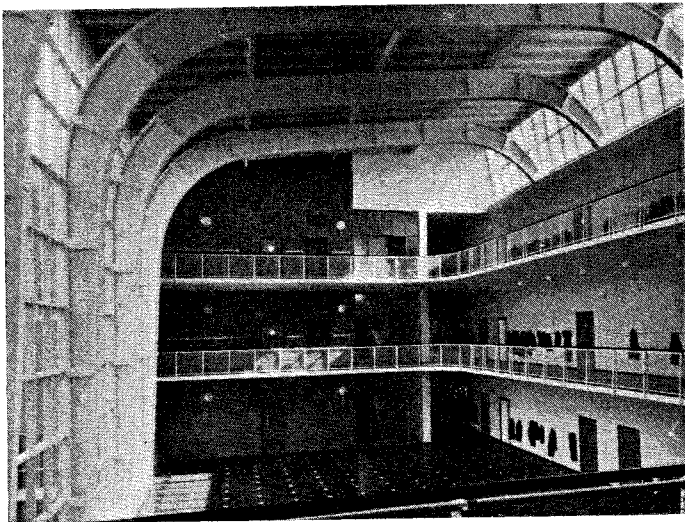


Fig. 114.

Springet fra en Konstruktion som vist paa Fig. 114 til en Buekonstruktion er ikke stort. De sammensatte Profiler kan let udføres med en jævn Krumning svarende til Tryklinien for en Belastning.

*Tennishal i Sverige.*

Paa Fig. 116 er vist den bærende Konstruktion til en Tennishal i Stockholm bestaaende af Buer udført efter Töreboda-Systemet og med en betydelig Spændvidde, 47 m.

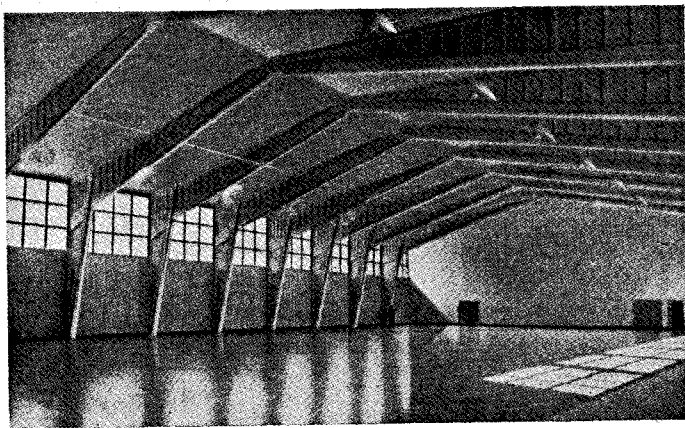


Fig. 115.

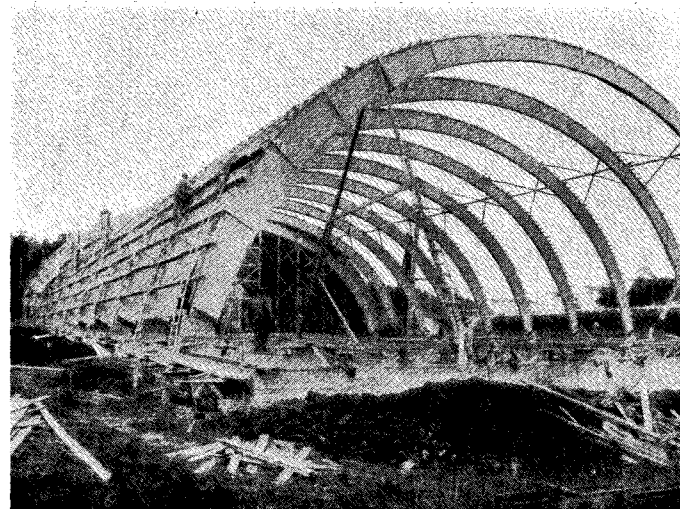


Fig. 116.

De er udformet som 2-Charniersbuer med et Trækbaand indstøbt i et Betongulv, som bærer Hallens Trægulv. Den største Højde af et Bueprofil er 1,76 m.

En Gitterkonstruktion optager i Reglen mere Plads og har ofte et mindre tiltalende Udseende end et massivt System.

Almindelig anvendt er Gittersystemer i Ladekonstruktioner, hvoraf der jo her i Landet findes overordentlig mange. Der skal derfor her siges et Par Ord om saadanne Konstruktioner. De findes i et meget betydeligt Antal Variationer og er ikke altid lige rationelt udført. Ofte er en bestemt Type knyttet til en bestemt Egn, en Standardtype, som er Resultatet af stedlige Haandværkeres Udvikling. En Rationalisering af Ladebyggeriet med Udvælgelse af en Række virkelig egnede Typer kunde tiltrænges.

Paa Fig. 117a er vist en Gitterkonstruktion af ældre Dato. Den er ikke helt hensigtsmæssig men anvendes dog stadig. Hvis Stængerne betragtes som rene Gitterstænger, der kun kan tage Træk og Tryk, ses det, at Konstruktionen ikke er rumlig stabil, idet et Snit i Punkterne *F* og *G* ikke overskærer noget Gitter men kun en enkelt Stang. Da Stængen imidlertid kan optage et vist Bøjningsmoment, vil

## Gitterkonstruktioner.

*Lader.*

## Rammer og Buer.

en mindre Konstruktion i Almindelighed besidde tilstrækkelig rumlig Stabilitet. En større Konstruktion vil derimod være udsat for at blæse om, men den reddes, hvis Taget er beklædt med en Brædebeklædning, der kan virke som en Skivekonstruktion: Belastningen paa Tagfladen  $BC$  bæres af Tagdækningen fra Spærfag til Spærfag og overføres til

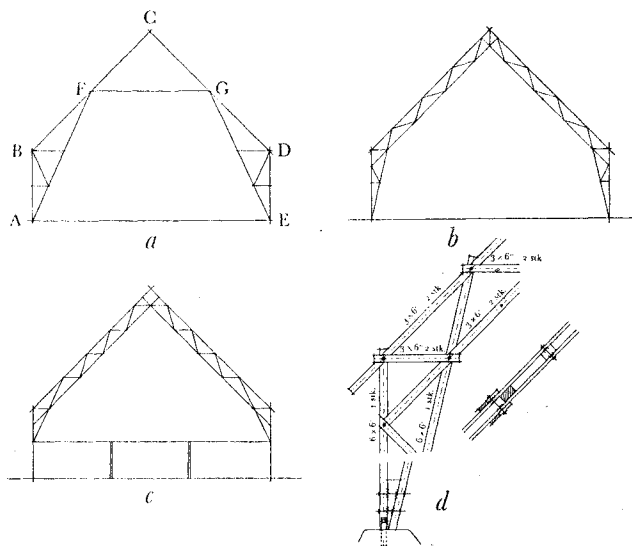


Fig. 117.

Spæret  $BC$ , der er understøttet i Punkterne  $B$ ,  $F$  og  $C$ . Reaktionen i  $B$  opløses efter  $BA$  og  $BC$ . Reaktionen i  $F$  efter  $FA$  og  $FB$ , og endelig Reaktionen i  $C$  efter  $FC$  og  $CG$ . Foruden Trykket i Stængerne  $BA$  og  $FA$ , der kan gaa direkte ned i Fundamentet, har man nu kun Kræfter i Planerne  $BC$  og  $CD$ , og i hvert af disse Planer har Brædebeklædningen Mulighed for at bære som Skive fra Gavl til Gavl.

Hvis man i en større Ladebygning, med Rammekonstruktioner som den ovenfor nævnte som bærende Led, erstatter Brædebeklædningen med Eternitplader el. lign., der ikke danner en sammenhængende Flade, risikerer man — og det er sket — at Laden blæser om.

I mange ældre Ladekonstruktioner, der er samlede med Bolte, er Boltehullerne boret rigelig store, saaledes at man

uden Besvær har kunnet anbringe Boltene. En Konstruktions Stivhed øges væsentligt, hvis man borer Hullerne saa smaa, at Boltene maa drives ind med en Hammer, og endnu større Stivhed faas ved samtidig Benyttelse af Indlæg.

I Konstruktionernes Barndom har man næppe gjort sig det klart, at Rammerne i sig selv manglede rumlig Stabilitet, men at denne sikres gennem en Skivevirkning i selve Tagfladen. Og naturligvis er der, naar Taget ikke er beregnet som bærende Skive, en ret tilfældig Sikkerhedsgrad i Konstruktionen. En Lade, der blæser om, er da heller ingen Sjældenhed.

Man kan gøre den Betragtning gældende, at Sikkerheden ikke behøver at være saa stor i en Ladekonstruktion som i mange andre Konstruktioner, hvis Sammenbrud, naar den bevægelige Belastning helt eller delvis bestaar af Mennesker, vil være en Katastrofe. Hvis der paa Bekostning af en lille Sikkerhed kan spares en Sum paa hver af de Tusinder af Lader, der findes her i Landet, kan det maaske betale sig i hvert enkelt Tilfælde at løbe den minimale Risiko, der under særlige Forhold kan være for en Omblæsning. Dette Synspunkt forudsætter rigtignok, at man med en passende Nøjagtighed kan fastsætte den Sikkerhed, som man ønsker under normale Forhold. En tilfældig Sikkerhed, som enten er for stor, hvilket gør Konstruktionen unødvendig dyr, eller for lille, saa en Omblæsning risikerer ved normale Vindstyrker, medfører naturligvis ikke nogen økonomisk Gevinst — tværtimod.

I en Konstruktion som vist i Fig. 117b, der i Modsætning til de fleste af tidligere Tidens Ladebygninger let lader sig overskue statisk set, kan Sikkerheden bestemmes nogenlunde nøjagtigt. I den nævnte Konstruktion, er hver Ramme stabil i sig selv.

Fig. 117c viser en lignende Konstruktion. Bygningen er her opdelt i en nedre Stald-Etage og en øvre Etage, som er beregnet til Kornloft.

En Detail af Konstruktionen i Fig. 117b er vist i Fig. 117d.

Mange Haller er udført helt af Træ med den bærende Konstruktion bestaaende af et Gittersystem. Mest udbredt

## Rammer og Buer.

## Rammer og Buer.

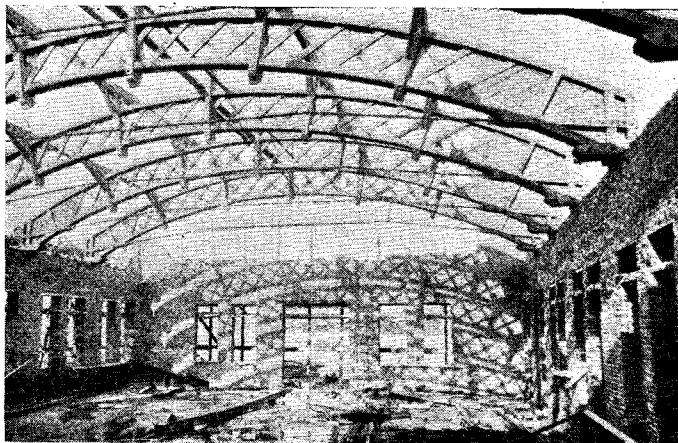


Fig. 118.

Stephanbuer i  
Fabriksbygning.

er Gitterbuer efter System *Stephan*, hvor Gitteret som tidligere omtalt bestaar af Bræddekors. Som Eksempel kan nævnes Perronhallen i Københavns Hovedbanegaard, hvor Buernes Spændvidde er 20 m. Paa Fig. 118 ses Stephanbuer anvendt i en Fabriksbygning. Buerne er forsynet med Trækbaand af Staal. I Nærheden af Vederlagene, hvor Paavirkingerne i Kroppen er størst, er denne udført massiv.

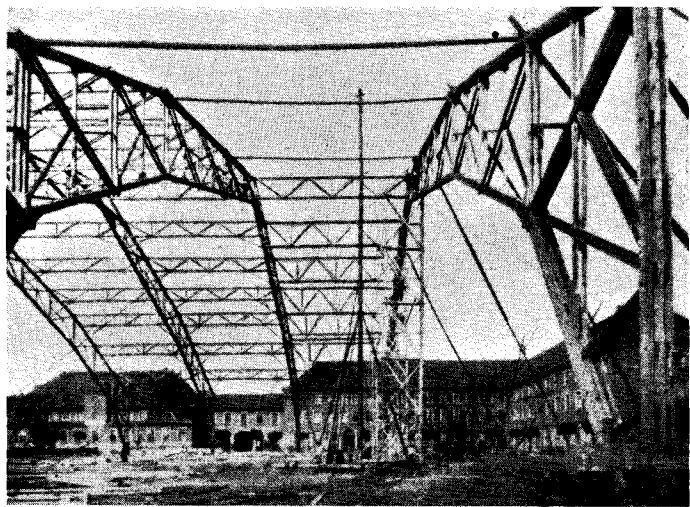
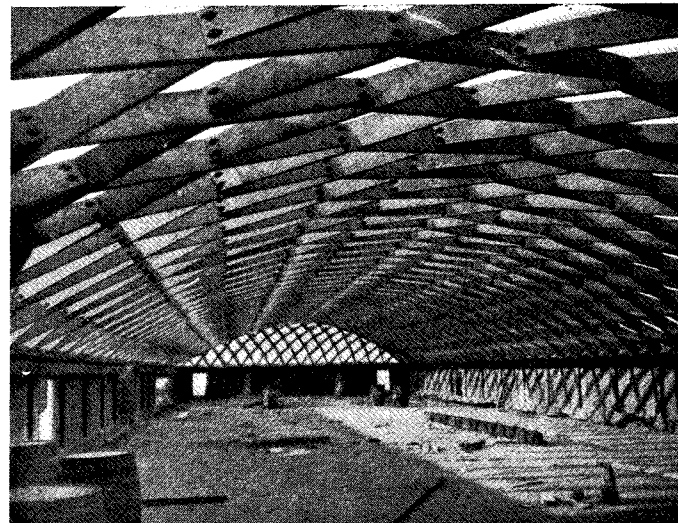


Fig. 119.



## Rammer og Buer.

Fig. 120.

3-Charniers-Gitter-  
buer.

Massiv  
Cylinderflade.

Lamel-  
konstruktion.

Taarne og  
Master.

Paa Fig. 119 er vist en Trægitterkonstruktion bestaaende af 3-Charniersbuer til en Hal med betydelig Spændvidde, 60 m, og med en største Højde paa 24 m.

En massiv Cylinderflade i Lighed med de Konstruktioner, der tidligere under Jernbeton er omtalt, kan ogsaa udføres i Træ. Man har f. Eks. prøvet at opbygge en saadan Konstruktion af et Lag Brædder beliggende i Frembringerretningen med to paasømmede Systemer af Brædder, der krydser hinanden, og som danner en Vinkel paa  $45^\circ$  med Frembringerretningen.

En billigere Konstruktion har man dog sikkert i de saakaldte Lameltage, som findes i forskellige patenterede Udformninger, og som i Reglen bestaar af smaa Elementer af Planker eller Brædder, som boltes sammen til en Helhed, der er formet efter en Cylinderflade, og som danner et System af krydsende Træbuer. Fig. 120 viser en saadan Lamelkonstruktion før Tagbeklædningen er anbragt.

Til Taarne og Master anvendes Træ i stor Udstrækning, f. Eks. har Træ som bærende Konstruktion i Kirkespir hidtil været det dominerende Materiale.

## Taarne og Master.

### Forskellige Eksempler.

*Fritstaaende Radiomast, Herstedvester.*

Uden at komme for meget ind paa de her nævnte specielle Trækonstruktioner skal der dog som Eksempel paa Træs Anvendelsesomraade omtales nogle faa Konstruktioner.

Paa Fig. 121 ses den 125 m høje fritstaaende Radiomast i Herstedvester. Mastens Tværnsnit er kvadratisk. Sidelinien er forneden 30 m, foroven 2,9 m. De enkelte Stænger er sammensat af 4 Stykker Træ, hvorved man opnaar hensigtsmæssige Forbindelser i Knudepunkterne, idet de forskellige Stænger kan gribe ind i hinanden, som det fremgaar af Billedet til højre i Fig. 121. I Samlingerne er der udelukkende benyttet Dorne, der af Hensyn til radiotekniske Forhold er udført af Bronze.

*Fritstaaende Radiomast, Skamlebæk.*

Fig. 122 viser en 38 m høj fritstaaende Trægittermast fra Skamlebæk Radiostation, som er konstrueret af runde Telegrafstænger. Alle Samlingerne er udført med Bolte med Gitterkløer. Fig. 122 viser tillige et Nærbillede af den ene Fod.

I Modsætning til de ovenfor nævnte fritstaaende Master er den paa Fig. 123 viste Radiomast afspændt med Barduner,

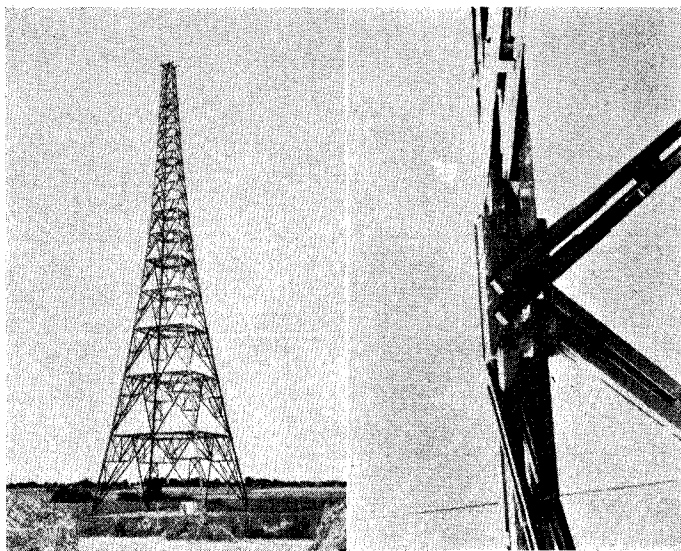


Fig. 121.

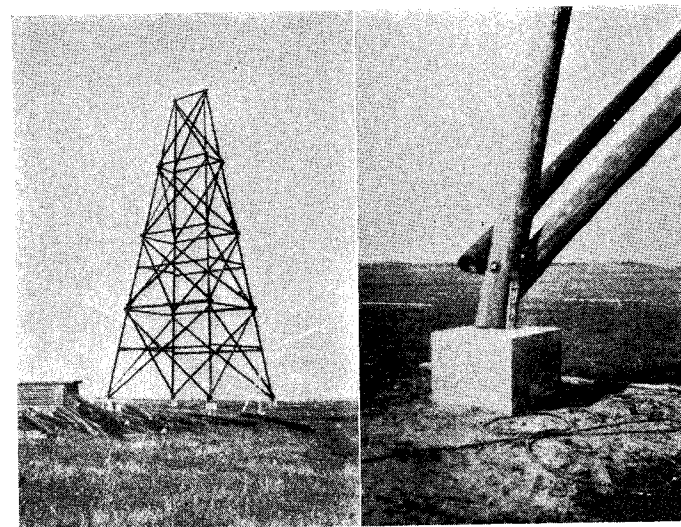


Fig. 122.

hvorved Masten kan udføres overordentlig slank. Skønt Højden er 100 m, er Tværnsnittets Sidelinie kun 1,5 m. I Fig. 123 ses til højre et Nærbillede af Mastens nederste 10 m.

*Afspændt Radiomast, Skamlebæk.*

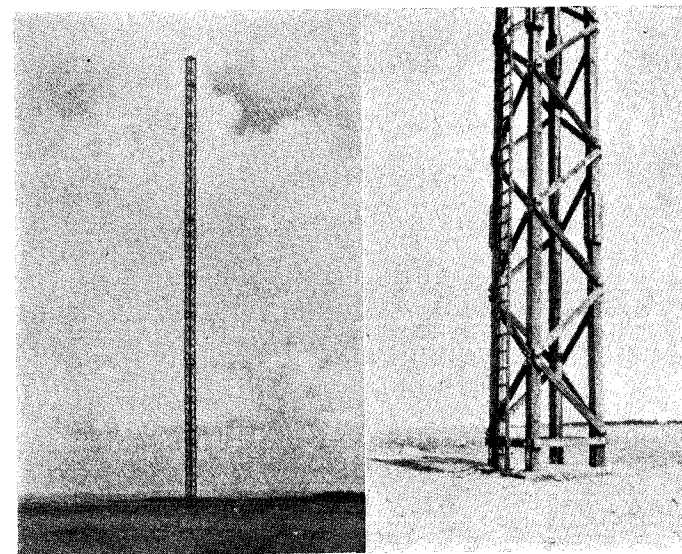


Fig. 123.