

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

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

Rettigheder

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

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

DEN
POLYTEKNISKE
LÆREANSTALT

JÆRNBETON-BROER

GRUNDLAG FOR FORELÆSNINGER
PAA POLYTEKNISK LÆREANSTALT

AF

A. OSTENFELD



2. udgave

KJØBENHAVN

1917

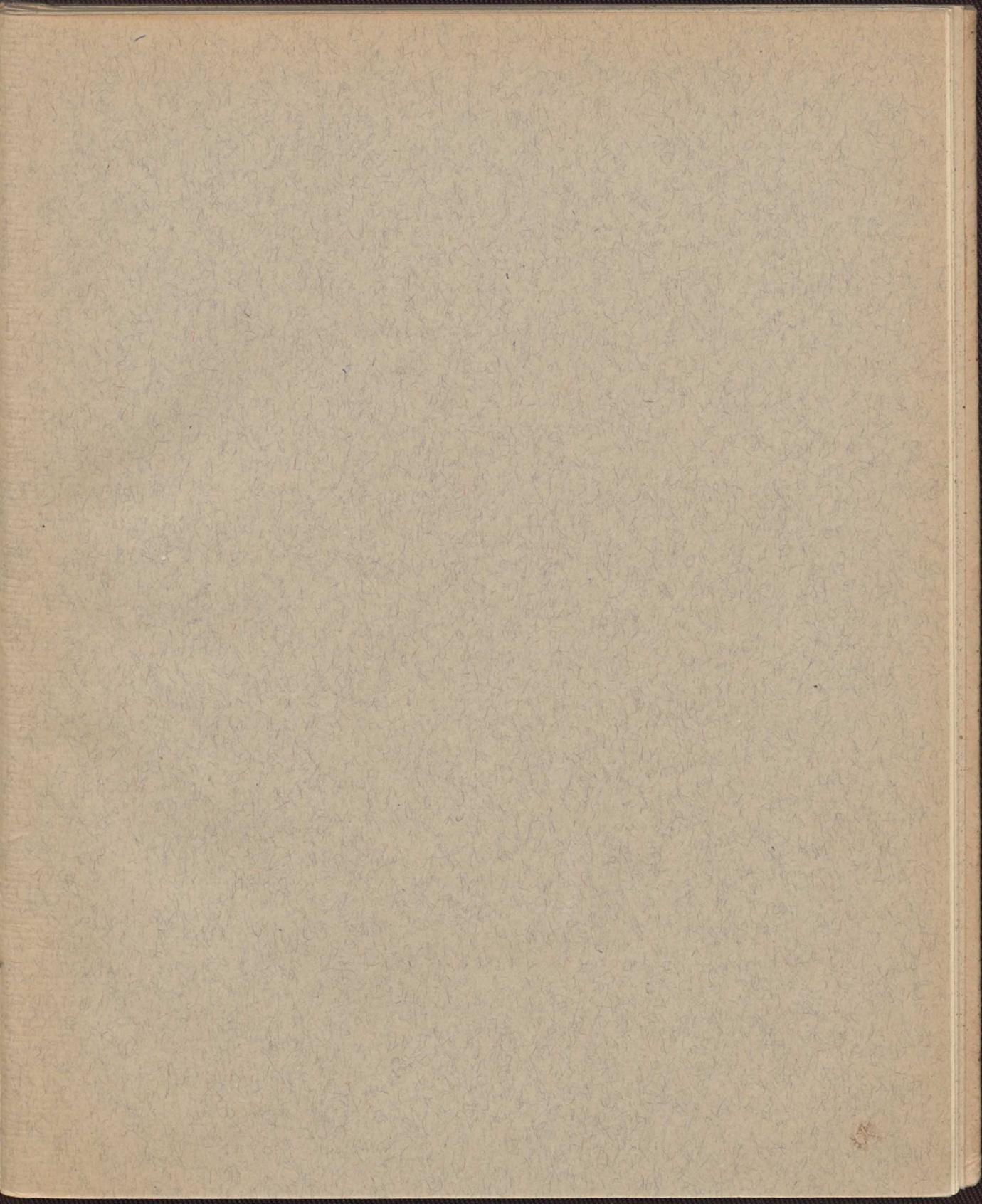
FRODE HASS, LITH. KØBENHAVN

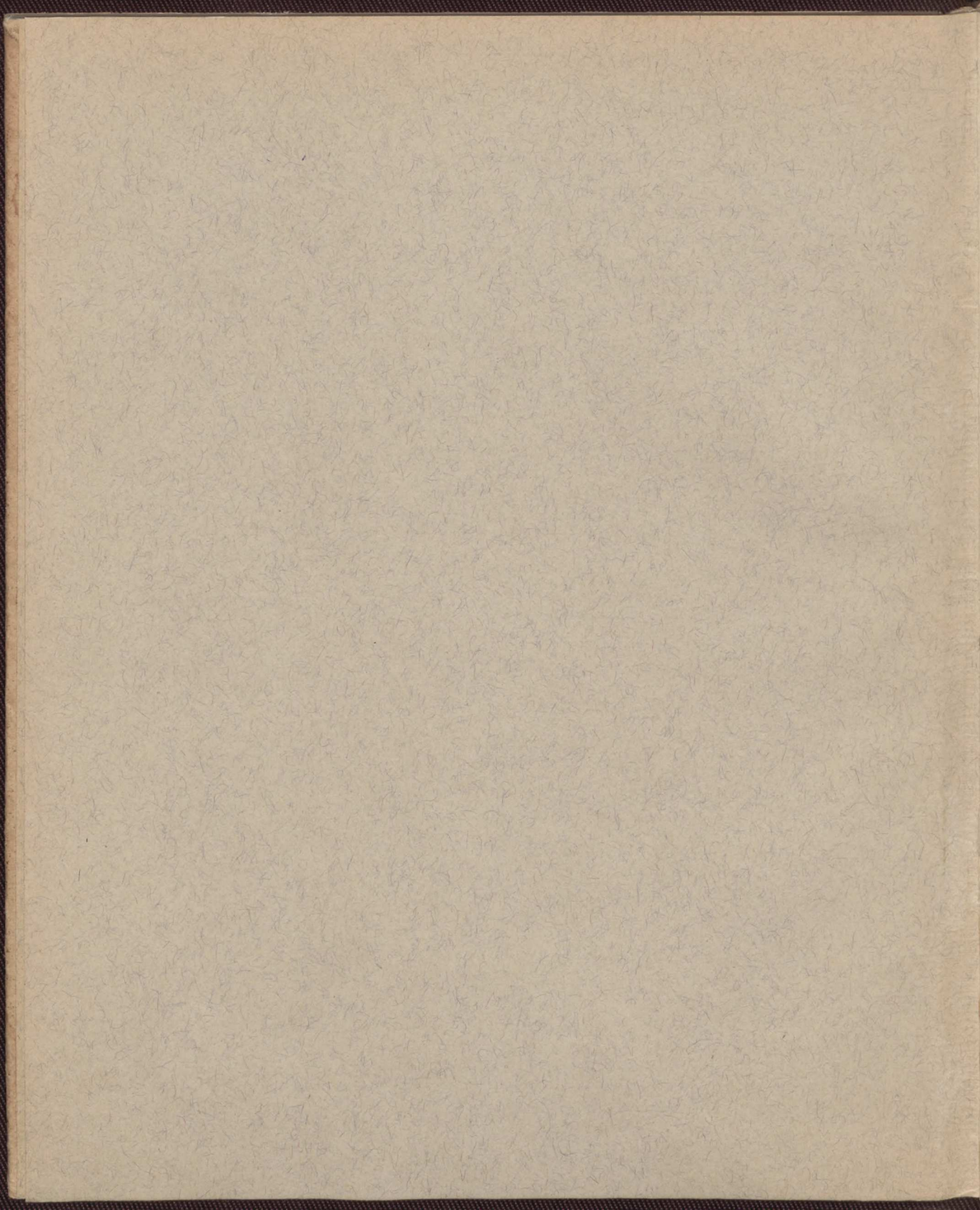
1920

II

624.6 gl.
624.666.2

624.6.38.





Teknisk Bibliotek

JÆRNBETON-BROER

GRUNDLAG FOR FORELÆSNINGER
PAA POLYTEKNISK LÆREANSTALT

AF
A. OSTENFELD



2DEN UDGAVE

KJØBENHAVN

1920

FREMSTILLET HOS TUTEIN & KOCH

624.6

§ 1. Almindelig Oversigt. Hvad Inddelingen (i Jærnbane-, Vej-, Gade-Broer, lige og skæve Broer, én eller flere Aabninger) angaar, gælder ganske det samme som for Jærnbroer (J.K.III, § 1). Efter Hoveddragernes Virkemaade kan her derimod kun skelnes mellem Bjælke- og Buebroer og de forskellige Overgangsformer (Buer med Trækstang, Portal- og Rammekonstruktioner).

Endvidere kan man ogsaa her principielt skelne mellem den bærende Hovedkonstruktion og Brobanen (se J.K.III, § 2), den første indbefattende Hoveddragere, Vindragere og Tværafstivninger, den anden Brodækket, Brobanebjælkerne og Rækværket. Ved enkelte Buebroer kan disse forskellige Konstruktionsdele fremtræde ligesaa skarpt adskilte som i Jærnbroer, men i de fleste Jærnbetonbroer, og navnlig i Bjælkebroerne, smelter de mere eller mindre sammen, saaledes at den samme Jærnbetonplade f. Eks. kan gøre det ud for Bredæk, Brobanebjælker, Tværafstivninger og Vinddrager paa én Gang. Dette hænger sammen med den monolitiske Karakter, som netop er karakteristisk for en Jærnbeton- i Modsætning til en Jærnkonstruktion, og heraf følger yderligere det for Beregningen vigtige Forhold, at en Jærnbetonkonstruktion altid ifølge sin Natur i langt højere Grad end en Jærnkonstruktion er statisk ubestemt, og at det passer mindre godt at afbryde Konstruktionen ved Charnierer o.l. for at præcisere den statiske Virkemaade.

Dette gælder endelig ogsaa om Overbygningen i Forhold til Pillerne. Medens Jærn egentlig kun anvendes i Mellemlunderstøtninger (som Søjler, Aag, Taarne), kan Jærnbeton benyttes baade i Mellempiller (i de samme Former som ved Jærn) og i Endepiller og Fløje (som Vinkel-Mure o.l.), og selv om man fremstiller Pillerne af uarmeret Beton, er der ikke den samme Væsenforskel mellem dem og Overbygningen, naar denne er af Jærnbeton, som naar den er af Jærn. Det vil derfor i mange Tilfælde være det naturligste at lade Overbygningen gaa jævnt over i Pillerne uden skarp Adskillelse ved Lejer eller Charnierer. Afbrydelser bør i det hele kun anvendes, naar der foreligger en ganske særlig Anledning, som f. Eks. ved mindre paalidelig Byggegrund, særlig ringe Pilhøjde for en Buebro og lign. Men det skal dog allerede her nævnes, at Hensynet til Temperaturvariationer og navnlig til Betongens Svind i mange Tilfælde nødvendiggør Indlæggelsen af Fuger eller Charnierer.

I Sammenligning med Jærnbroer maa først og fremmest nævnes de mindre Vedligeholdelsesudgifter for Jærnbetonbroer; man kan for en Jærn-Overbygning regne de kapitaliserede Vedligeholdelsesudgifter som et Tillæg paa 10-15 % af Byggesummen udover det for en Jærnbeton-Overbygning nødvendige. Ogsaa de rene Byggeudgifter er sædvanligvis mindre for Jærnbeton, men dette afhænger naturligvis af de øjeblikkelige Prisforhold; for mindre Bjælkebroer, op til ca. 20 m Spændvidde, vil det dog næsten altid være Tilfældet, og ligeledes for hvalvede Broer op til 60-70 m, naar Forholdene med Hensyn til Fundering, Konstruktionshøjde o.l. ikke er altfor ugunstige. - Som yderligere Fordele ved Jærnbetonbroer nævnes deres større Stivhed, mindre Paavirkelighed overfor Stød og Rystelser (paa Grund af den større Egenvægt, der dog i andre Henseender kan betyde et Minus), den naturligere og billigere Anvendelse af et permanent Dæk (for Jærnbanebroer Overførelse af Ballasten), simplere Konstruktion ved skævt eller uregelmæssigt Grundrids. Til Gengæld kræves en omhyggeligere Kontrol med Udførelsen, senere Forstærkninger af en Jærnbeton-Overbygning er næsten umulige og Udvexlinger besværlige, og endelig er det en Ulempe, at man ikke kan undersøge Armeringen for Rustangreb og saaledes til Stadighed skaffe sig Sikkerhed for Broens Vedligeholdelsestilstand. Dette sidste Spørgsmaal har til Tider forarsaget nogen Uro, der dog i det store og hele maa betragtes som overdreven; man er nu i Almindelighed enig om, at der i saa Henseende ingen Fare foreligger, naar der blot sørges for et tilstrækkelig tykt dækkende Betonlag (3 - 3,5 cm for Hovedarmeringen) og for en tæt Betonblanding.

Tværsnittet for de i Jærnbeton mulige Dragerformer kan være:

- 1) rektangulært, med stor Bredde i Forhold til Højden, Plader; i Brodæk, ganske korte Bjælkebroer, Hvalvinger;
- 2) rektangulært, med i Almindelighed større Højde end Bredde; i Bjælkebroer med Brobanen forneden, Enkelt-Buer;
- 3) T-formet, Ribbeplade; i Bjælkebroer, sjældnere som Buedragere;
- 4) sjældnere kasseformet, I-formet o.l.

Dragerne er dernæst i Almindelighed massive, navnlig altid ved de mindre Dimensioner. For større Dragere, hvor Egenvægten kommer til at spille en stor Rolle, har man forsøgt sig med Udsparinger og Gennembrydninger i Kroppen, hvorved man videre er kommen ind paa enten Vierendeelbjælker eller egentlige Gitterbjælker. Imod begge disse Konstruktionsformer kan der dog rejses en Del Indvendinger, paa Grund af den uundgaaelige samtidige Optræden af Træk- og Bøjningsspændinger i forholdsvis spinkle Konstruktionsdele og navnlig i Nærheden af Knudepunkterne; i det hele er der store Vanskeligheder ved at fremstille en upaaklagelig Knudepunktskonstruktion i Jærnbeton. En Del af disse Indvendinger gælder ogsaa overfor Anvendelsen af en Trækstang ved Buekonstruktioner. - I Vinddragere, Tværafstivninger, Mellem-Aag o.l. bliver der snarere Tale om Vierendeel- eller Gitter-Konstruktion end i Hoveddragerne.

I. Bjælkebroer.

§ 2. Brobanen foroven, en Aabning. Naar Konstruktionshøjden tillader det, hvorved ogsaa maa tages Hensyn til den Plads, Forskallingen tager under Broens Bygning, lægges Hoveddragerne under Brobanen. Bæredækket dannes da af en Jærnbetonplade, der tillige indgaar som Led i de T-formede Hoveddragere, og disses Antal bestemmes alene af Hensigtsmæssighedshensyn.

Ved ganske smaa Spændvidder - for Jærnbanebroer op til ca. 2 m, for Vej- og Gadebroer op til ca. 5 m, - udelader man helt Ribberne og nøjes med Pladen alene; dennes Tykkelse kan da naa op til 35-40 cm, men til Gængæld bliver Forskallingen billig. Ved større Spændvidder - op til ca. 20 m, stört højere naar man sædvanligvis ikke med denne Konstruktion - kommer man derimod til de i Fig. 1-3 viste Tværsnitsformer.

For Jærnbanebroer anvendes 2, 3 eller 4 Dragere (Fig. 1-3, Pl. 1 og Fig. 1^a og 3^a, Pl. 7) for hvert Spor; Fig. 3^a viser Brobanekonstruktionen for Øre-Elv-Broen. Ballasten bør altid føres over Broen, helst med mindst 25 cm Tykkelse under Svellelæne. Bunden i Ballastkassen skal have Fald, og baade den og Siderne forsynes med et Isolerings- og Beskyttelseslag, som nedenfor under Vejbroer beskrevet. Siderne i Ballastkassen er i Almindelighed førte op til Højde med Svelleoverkanten eller noget højere (Fig. 1 og 3), men nok saa godt er det at holde dem noget lavere (Fig. 1^a og 2), saa Svellelæne kan udvexles, uden at Skinnerne behøver at løftes. Ballastkassens Bredde er mindst lig Svellelængden + 2x30 cm. Iøvrigt anvendes lignende Forhold mellem de enkelte Dimensioner som for sværere Gadebroer.

For Vej- og Gadebroer med Trottoirer langs Siderne anbringes de yderste Kørebanedragere gerne under Fortovskanten eller lidt længere ude, og under Kørebanen gøres Drager-Afstanden fra Midte til Midte 1-2 m, i Almindelighed ca. 1,5 m, d.v.s. omtrent svarende til Sporvidden for de tunge Vogne, hvormed der skal regnes. - I det hele kan man gaa ud fra følgende Forhold mellem Hovedmaalene (Fig. 4):

theoretisk Dragerlængde $l = 1,03 L + 0,40$ m.
 Dragerhøjde $h = \frac{1}{10} l - \frac{1}{14} l$ (gunstigt $\frac{1}{12} - \frac{1}{13}$),
 sjældnere ned til $\frac{1}{20} l$ for lette Broer (Gangbroer o.l.); $\frac{1}{7} l - \frac{1}{10} l$ for Jærnbanebroer.

Drager-Afstand $b = 1-2$ m, hyppigst ca. 1,5 m: en Forøgelse af b medfører en større Pladetykkelse t , men et mindre Antal Hoveddragere, og derved ogsaa en Formindskelse af Forskallingsomkostningerne; Minimum af Betonvolumen faas for $bt = b_0 (h-t)$, d.v.s. naar Ribbe- og Pladetværsnit er lige store:

Pladetykkelsen t er i Almindelighed:

for Gang- og lette Vejbroer	8-15 cm, gennemsnitlig	13 cm,
" alm. Landevejs- og Gadebroer	12-20 cm, "	16 "
" svære Gadebroer	15-25 " , "	20 "

Ved Bestemmelsen af t maa erindres, at Pladen fungerer baade som Bæredæk og som Drager-Flange, og det kan lige saa godt være det sidste som det første Hensyn, der bliver afgørende. En Fortykkelse af Pladen lige ved Hoveddrageren, som i Fig. 1^a (Pl. 7) vist, er ofte fordelagtig.

Ribbe-Bredden b_0 hyppigst $= 2 h - \frac{1}{2} h$, ofte dog en Del afvigende herfra. Kun for meget spinkle Dragere kommer man med b_0 ned til 20-25 cm, hyppigst er $b_0 = 30-40$ cm; med $b_0 < 40$ cm er der ikke Plads til at gaa ned

i Forskallings-Kassen. b₀ afhænger ogsaa noget af Armeringsjærnenes Antal og af deres Diameter d, idet den frie Afstand mellem to Jærn i samme Lag mindst bør være lig 1,5 Gange Jærndiametren, dog ikke under 3 cm, og det dækkende Betonlag mindst 2 cm.

Udkragningen c under et Trottoir kan gøres 40-80 cm eller højst ca. $\frac{1}{2} b$, naar Pladen alene skal bære; ved større Udkragning tilføjes Konsoller (i Flugt med Tværbjælker!), og Pladen armeres paa langs.

Afstanden mellem Tværafstivningerne (Afstivnings-Tværbjælkerne) $\frac{1}{3} l - \frac{1}{4} l$; saadanne Tværbjælker kan undværes ved brede og lave Ribber og anbringes langt fra altid (bl.a. fordi de fordyrer Forskallingen). Over Understøtningerne bør man dog i alt Fald anvende en Tværbjælke, undertiden ogsaa for at opnaa en større Understøtningsflade.

Brodækket. Angaaende Overfladens Form, Vandafledningen og Størrelsen af det anvendte Tvær- og Længdefald se J.K.III, § 29, og angaaende Konstruktionen af Sliddækket paa Kørebane og Trottoir se J.K.III, § 31-32. Ved tæt Sliddæk (Asfalt, Granitbrolægning paa Beton og med Cementfuger) skal der kun sørges for Vandafledning fra Overfladen, men med utæt Slidlag (Macadamisering, Brolægning paa Sandfundament, Træbrolægning og ligeledes paa Jærnbanebroer med Ballast) skal ogsaa Bredækkets Overflade have Fald (paa tværs og paa langs, ud over Endepillerne eller til Dybdepunkter) og beskyttes ved et Isoleringsslæg. Faldet tilvejebringes enten ved mager Udfyldningsbeton ovenpaa den bærende Plade eller ved at lægge selve denne skraat; særlig for Længdefaldets Vedkommende er den sidste Udvej praktisk, idet man herved opnaar lidt større Dragerhøjde paa Midten. Fald paa tværs mindst 1:50, paa langs mindst 1:100. Pladens Overflade kan afrettes med et 1,5 - 2,5 cm tykt Pudslag af Cementmørtel 1:1 $\frac{1}{2}$ & 1:2, og undertiden nøjes man hermed; bedre indlægges dog et særligt Isoleringsslæg, ved Strykning med varm (kunstig) Asfalt, et eller to Lag Tjærepap, Ruberoid, Asfaltfilt, Callendrit, Siabels Bly-isolering o.fl., og som Beskyttelse dækkes Isoleringen med et 2-3 cm tykt Pudslag 1:2 & 1:3, bedst med indstøbt Hønsenet (se J.K.III, S. 261).

Sidebegrænsningen for Kørebane, hvis der intet Trottoir findes, kan udføres, som i Fig. 5, ved at gøre den yderste Drager højere og forme dens øverste Del som Gesims eller ved ovenpaa den at lægge en huggen Dæksten paa lignende Maade som i Fig. 6.

Opspringet til et Trottoir kan tilvejebringes alene i Sliddækket (Fig. 6) eller hyppigere ved at lægge Bredækket højere over hele Trottoirbredden (Fig. 7) eller ved efterhaanden at trække Pladen højere op (Fig. 8). Statisk er Ordningen i Fig. 6 bedst; ved kontinuerlige Dragere, hvor der over Melleunderstøtningerne kommer Træk i den højere liggende Plade (Fig. 7) eller Gesimsen (Fig. 5), bør en Overanstrengelse eller Revner hindres ved Indlæggelse af Fuger. Mellem Kørebane og Trottoir lægges bedst en særlig (huggen eller støbt) Kantsten, men man har ogsaa støbt Kanten paa Stedet og beskyttet den ved et Vinkeljærn (Fig. 9).— Langs den udvendige Trottoirkant lægges en Kantningsdrager (Fortykkelse af Pladen, Fig. 7-8), der tjener som Indfatning, maaske som Gesims, til Befæstelse af Rækværket, og maaske som Fodlist heri (hvis den springer 5-10 cm op over Trottoirdækket).

Rækværket gøres simplest og hyppigst af smedeligt Jærn med Sceptrene faststøbte i Kantningsdrageren, bedst ved Enderne af Konsollerne (ellers maa man sikre sig, at Pladen kan optage det bøjende Moment fra Rækværket). Men man har ogsaa støbt Sceptrene (Fig. 10^a, Pl. 7) og undertiden endog hele Rækværket (Fig. 10) af Jærnbeton og i enkelte Tilfælde anvendt mere massive Konstruktioner (af Sandsten o.l.) ligesom ved Stenbroer.

Understøtningerne. Paa murede Piller kan der kun være Tale om "simple Understøtninger"; ønsker man en Indspænding, hvorefter nærmere i § 5 under Portal- og Ramebroer, maa Pillerne udføres af Beton eller Jærnbeton.

Naar Overbygning og Pille skal være adskilte, kan Tilslutningen iværksættes paa de to i Fig. 11 a-b viste Maader. I Fig. 11^a er Bagmuren ført op til Pladens Overkant og Spalten overdækket med et Stykke Fladjærn, en Strimmel Zinkblik eller lignende; i Fig. 11^b benyttes Ende-Tværbjælken til Begrænsning af Fylden, og Isoleringsslaget er ført ned over Fugen.

Naar $l \leq$ ca. 10 m, plejer man ikke at anvende noget særligt Leje, men lader uden videre Dragerne hvile paa Pillen (tilladeligt Tryk ca. 25 kg/cm², med mindre Pille-Murværket kræver en lavere Værdi). Pillens Forkant fases helst lidt af, for at Trykket ikke skal komme til at virke for

nær ved den, og for at sikre Adskillelsen mellem Drager og Pille lægges f. Eks. et Lag Tagpap imellem, førend Overbygningen stöbes.- Ved større Længde af Broen end 10 m anvendes bedst lignende Lejer som for Pladejernsdragere, altsaa fortrinsvis simple Pladelejer. Overdelen dannes ofte blot af en valset Plade, der ved Bolte med forsænkede Hoveder, ombøjede Strimler o.l. stöbes fast i Drageren, Underdelen bedst af Stöbejern eller Staalstöbegods med hvælvet Overflade. I enkelte Tilfælde har man ogsaa anvendt Vuggelejer og simple Rulle- eller Pendullejer af Stöbejern eller Staalstöbegods, og endelig har man forsögt sig med Penduler, dannede af Betónkvadere med hvælvede Flader foroven og forneden, undertiden med Blyplader indlagte i Beröringsfladerne mellem de nævnte Kvadere og Dragere og Piller.

Som Dragere under Brobanen har man foruden den almindelige (paa Stedet stöbte) Jærnbeton-Ribbeplade ogsaa undertiden anvendt i Forvejen færdigstöbte Bjælker, af hvilke man har forsögt sig med forskellige "Systemer". Her i Landet er et Par Gange anvendt Visintini-Bjælker (Fig. 12) Gitterbjælker, der stöbes liggende paa Siden og efter Oplægningen sammenstöbes ved Hjælp af underskaarne Riller i Siden af Hovedet. Andet Steds har ogsaa de rørformede Siegwart-Bjælker været en Del anvendte.

Beregning og Konstruktion. Pladen beregnes for en theoretisk Længde lig Afstanden b (Fig. 4) mellem Dragermidterne, og man nøjes sædvanligvis med følgende simple Regel: Momenterne findes i en simpel Bjælke af Længde b baade for hvilende og bevægelig Belastning, og det saaledes bestemte $M_g + M_p$ formindskes med 20 % under Hensyn til Kontinuiteten, hvorefter man sætter:

$$\text{det bestemmende max } M = \text{det bestemmende min } M = 0,8 (M_g + M_p).$$

Egentlig skulde Pladen behandles som en kontinuerlig Bjælke paa elastisk forskydelige og elastisk drejelige Understötninger (de i Forhold til Pladens ofte ret svære Hoveddragere yder en ikke ubetydelig Modstand mod Vridning), og tager man blot nogenlunde korrekt Hensyn hertil, viser det sig, at man kan komme til endog noget større Momenter end efter den nævnte Regel, og navnlig kan de negative Momenter optræde over langt større Strækninger end ved faste Understötninger; paa den anden Side virker den brede Understöttningsflade, hvormed Pladen hviler paa Bjælken, gunstigt. I Praxis er det ikke ualmindeligt at regne med noget mindre Værdier af Egenvægtmomentet end $0,8 M_g$, i Mellemfag helt ned til $1/3 M_g$ som ved fuldstændig Indspænding, og det er ogsaa rigtigt nok, at Forholdene stiller sig noget gunstigere for hvilende end for bevægelig Belastning, navnlig i Mellemfagene. Der er saaledes intet væsentligt at indvende imod, om der i Mellemfag regnes med f. Eks. $\frac{1}{2} M_g$, i Yderfag $2/3 M_g$, men Betydningen heraf er ikke stor, og da Reglen ovenfor som sagt ikke en Gang altid er paa den sikre Side, er der neppe tilstrækkelig Grund til at gøre Forskel.- Naar n betyder det Antal Armeringsjern (pr. m), der er nødvendigt for Momentet $0,8 (M_g + M_p)$, kan man da anordne Armeringen i det hele som vist i Fig. 13; i Stedet for at böje $1/3 n$ Jærn op paa to Punkter nøjes man ofte med $\frac{1}{2} n$ paa et enkelt Punkt. En Del af den övre Armering bör helst föres helt igennem af Hensyn til de negative Momenter, der fremkaldes af stærk Belastning i Fagene ved Siden af og ved Dragernes Nedbøjning, men det göres i Almindelighed ikke, og det besværliggör usægtelig ogsaa Stöbningen.

Bliver Afstanden b mellem Dragerne undtagelsesvis større end 2 m, kan man tilföje Tværbjælker og krydsarmere de omtrent kvadratiske Plader. Til Beregning af disse giver de paa Stedet gældende Normer i Forbindelse med ovenstaaende tilstrækkelig Vejledning.

Om Trykfordelingen for et Hjultryk ned gennem Brødækket er der meddelt de nødvendige Oplysninger i J.K.III, S. 291 og 294, og Regler herfor findes sædvanligvis ogsaa i de paa Stedet gældende Normer. I Pladens Armeringsretning regnes i Almindelighed kun med Trykfordeling ned til Pladens Overflade, medens man vinkelret herpaa gaar noget videre (adderer $1/3 b$ eller mere til Fordelingsbredden).

Ved Beregningen af Hoveddragerne bestemmer man sædvanligvis de paa den enkelte Drager faldende Tryk, idet man tænker sig Pladen (og eventuelle Tværbjælker) overskaarne over Hoveddragerne. Paa denne Maade er man paa den sikre Side for Kørebanedragernes og den bevægelige Belastnings Vedkommende; derimod kan der til Trottoirdragerne, naar der findes stive Tværbjælker, nok blive overført en Del af Hjultrykkene, men hvis disse Dragere, hvad der er ret almindeligt, göres stærkere end efter Beregningen strengt nødvendigt, er der ingen særlig Grund til at afvige fra den nævnte simple Tryk-Fordeling. Naar man ikke sørger for et saadant

Overskud af Styrke, bør man maaske dog gennemføre en Beregning som den i det følgende antydede.

*med
N_g 2 TE
side 116
Linnell f. m
(Ostergaard)*

Afstivnings-Tværbjælkerne maa først og fremmest være stærke nok til at bære det største Hjultryk i farligste Stilling, idet man ikke kan regne paa, at den langt mindre stive Plade kan optage nogen videre Del deraf. Men deres væsentligste Funktion er dernæst at overføre en Del af Belastningen fra en Hoveddrager til de andre, saa de bøjer sig mere ens ned, og en højere Grænse for den herfra hidrørende Paavirkning kan faas ved at beregne Trykfordelingen under Forudsætning af uendelig stive Tværbjælker.

Det drejer sig altsaa om at finde Tværbjælkens Tryk $A_1, B_1, C_1 \dots$ paa Hoveddragerne, idet man gaar ud fra, at Tværbjælken holder sig retlinet under Konstruktionens Formforandringer, og idet man regner med hele den Belastning (hvilende og bevægelig), der findes paa Strækningen fra Midte til Midte mellem to Tværbjælker. Den bevægelige Belastning anbringes efter et Skøn i en eller anden farlig Stilling; den hvilende Belastnings Bidrag til Tværbjælkens Paavirkning vil i Almindelighed ikke være stor, og da det hele dog kun bliver en raa Tilnærmelse, kan man i mange Tilfælde nøjes med den bevægelige Belastning.

Man benytter sig nu af, at to lige lange og paa samme Maade (men ulige stærkt) belastede Bjælkers Nedbøjninger er omvendt proportionale med deres Inertimomenter, altsaa (med let forstaaelige Betegnelser):

$$y_a : y_b : y_c = \frac{A_1}{I_a} : \frac{B_1}{I_b} : \frac{C_1}{I_c} \dots \dots \dots (1)$$

Antages foreløbigt $y_a = y_b = y_c \dots \dots$, d.v.s. Tværbjælken at bøje sig ned, saa den holder sig parallel med sig selv, faas:

$$\frac{A_1}{I_a} = \frac{B_1}{I_b} = \frac{C_1}{I_c} = \dots = \frac{A_1 + B_1 + C_1 + \dots}{\sum I} = \frac{P}{\sum I}, \quad (2)$$

idet P betegner Resultanten af hele Belastningen. Denne Resultant virker i et Punkt, der (Fig. 14) bestemmes ved:

$$A_1 x_a + B_1 x_b + \dots = 0 = \frac{P}{\sum I} (I_a x_a + I_b x_b + \dots),$$

altsaa i Tyngdepunktet for Størrelserne $I_a, I_b, \dots$, betragtede som Kræfter i Virkningslinierne for $A_1, B_1, C_1 \dots$, og her maa altsaa Belastningen have sit Tyngdepunkt, hvis den skal bevirke en saadan Parallelforskydning af Tværbjælken. Har man dernæst en excentrisk virkende Belastning P (Fig. 15), bestemmer man først Afstanden ξ fra P til det omtalte Tyngdepunkt og flytter P her hen til. Det centrale P 's Virkning findes ved (2), og hertil skal saa adderes de Tryk $A_1, B_1 \dots$, der fremkaldes af Momentet $P\xi$. Til Bestemmelse af disse Tryk har man, at (Fig. 15): $y_a : y_b : y_c \dots = x_a : x_b : x_c \dots$, hvormed (1) giver:

$$\frac{B_1}{I_b} = \frac{A_1 x_b}{I_a x_a}, \quad \frac{C_1}{I_c} = \frac{A_1 x_c}{I_a x_a} \dots \dots \dots;$$

indføres disse Værdier i Ligevægtsbetingelserne: $A_1 + B_1 + \dots = 0, A_1 x_a + B_1 x_b + \dots = P\xi$,

faas af den første: $\frac{A_1}{I_a x_a} (I_a x_a + I_b x_b + \dots) = 0$, altsaa $\sum I x = 0$,

hvilken Betingelse er opfyldt, naar x 'erne regnes ud fra Tyngdepunktet, og af den 2den:

$$\frac{A_1}{I_a x_a} (I_a x_a^2 + I_b x_b^2 + \dots) = \frac{A_1}{I_a x_a} \sum I x^2 = P\xi,$$

$$\text{altsaa} \quad \frac{A_1}{I_a} = \frac{x_a}{\sum I x^2} \cdot P\xi, \quad \frac{B_1}{I_b} = \frac{x_b}{\sum I x^2} \cdot P\xi, \dots \dots \dots (3)$$

Ved Addition af (2) og (3) faas de resulterende Tryk fra den excentriske Belastning. Inertimomenterne $I_a, I_b \dots$ kan tages som gældende for de fulde Betontværsnit af Dragerne, uden Hensyn til Armeringen, da det jo kun kommer an paa Forholdene.

For de tilladelige Paavirkninger findes der mange Steder officielle Forskrifter, undertiden i Forbindelse med Bestemmelser om Stødkoefficienter, hvormed den bevægelige Belastning skal multipliseres (f. Eks. 1,25 for Vej- og Gadebroer).

I det Forslag til en revideret Udgave af Dansk Ingeniørforenings Jærnbetonnormer, som for Tiden er under Behandling, foreskrives saaledes følgende tilladelige Paavirkninger r_b og r_j for Beton og Jærn:

	rb	rj
	kg/cm ²	kg/cm ²
1. Gangbroer	40	1100
2. Vej- og Gadebroer:		
fritliggende Plader	30	900
Plader, sekundære Længdebjælker og Tværbjælker i en sammenstøbt Brobanekonstruktion, samt direkte belastede Hoved-Bjælkedragere	35	1000
Hoveddragere: indirekte belastede Bjælkedragere og Rammekonstruktioner	40	1000
Buer og Hvælvinger	40	1100
3. Jernbanebroer (med mindst 25 cm Ballast under Svellerne):		
fritliggende Plader	25	800
Plader, sekundære Længdebjælker og Tværbjælker i en sammenstøbt Brobanekonstruktion samt direkte belastede Hoved-Bjælkedragere	30	900
Hoveddragere: indirekte belastede Bjælkedragere og Rammekonstruktioner	35	1000
Buer og Hvælvinger	40	1000

Der er herved forudsat den sædvanlige Kvalitet af Blødt Staal som Armeringsjern, og en Beton med Brudgrænse $\sigma_B = 200 \text{ kg/cm}^2$, bestemt ved Bøjningsforsøg med armerede Prøvebjælker. Anvendes en Beton, for hvilken der med Sikkerhed kan paavises en Brudgrænse $\sigma_B > 200$, maa rb ved Brokonstruktioner forøges med $\frac{1}{10}(\sigma_B - 200) \text{ kg/cm}^2$; σ_B maa herved dog ikke regnes større end 300. - De i Tabellen opførte rb og rj gælder for lodret Belastning alene. Naar alle Extraspændinger (Vind, Bremsning, Temperatur, Vind o. lign.) medtages, maa man gaa 30% højere op med de tilladelige Paa-virkninger.

§ 3. Brobanen forneden, en Aabning. Naar Konstruktionshøjden er for kneben til, at man kan lægge Brobanen ovenpaa Hoveddragerne, maa man ligesom ved Jernbroer anbringe Dragerne ude langs Siderne af Broen eller mellem Kørebane og Trottoirer (Fig. 16-18) og understøtte Brobanen paa Tværbjælker. Naturligvis kan der kun være Tale om denne Konstruktion, naar Broens Bredde er en Del mindre end dens Længde, saaledes at der dog kan blive Højde nok for Tværbjælkerne (mindst $1/10 - 1/12$ af Hoveddrager-Afstanden og ved stærk Belastning mere), eller naar det i det mindste er muligt at placere Hoveddragerne med ikke for stor Afstand. Hvis der kræves særlige Trottoirer, vil man derfor næsten altid lægge dem udenfor Hoveddragerne paa Konsoller (Fig. 17-18); ved en lidt bredere Kørebane kan der ogsaa tænkes paa at lægge en Hoveddrager langs Midten af denne.

Brobanen. Ved Gangbroer og meget smalle og lette Vejbroer kan man maaske nøjes med en Plade, der bærer frit fra Hoveddrager til Hoveddrager; blot maa man i saa Fald sørge for, at Hoveddragerne er saa lave og brede, at der ikke er Fare for deres Stabilitet, eller man maa sikre dem mod Væltning og Udknækning i Sideretningen paa anden Maade. - Det almindelige er imidlertid, at der maa anvendes Tværbjælker. Den theoretiske Længde af disse er lig Afstanden mellem Hoveddrager-Midterne. Et Indspændingsmoment kan kun hidrøre fra Hoveddragernes Vridningsmodstand, og man gør derfor bedst i at se bort derfra ved Dimensioneringen eller dog kun at anslaa det meget lavt; noget andet er, at man altid bøjer nogle Armeringsjern op hen mod Enderne, dels for at faa optaget Trækspændingerne fra en mulig Indspænding, dels af Hensyn til Forskydningspændingerne og den bedre Forbindelse med Hoveddragerne. Af den sidste Grund (og for at afstive Hoveddragerne) tilføjes ogsaa, navnlig hvis Tværbjælkens Højde er kneben, Konsoller (svarende til Knæplader ved Jernbroer) foroven eller forneden eller begge Steder (Fig. 17-18). I Almindelighed fører man, selv om det kun er af Monterings-Hensyn, et Par øvre Armeringsjern igennem over hele Længden.

Hvis Tværbjælke-Afstanden bliver større end 1,8-2,0 m, og altid ved Jernbanebroer, maa der yderligere anvendes sekundære Længdedragere. Om disses Beregning gælder det samme, som i forrige Paragraf er sagt om Pladen; man ser dem ikke sjældent beregnede som kontinuerlige Bjælker paa faste Understøtninger, men dette er her endnu mindre rigtigt end for den nævnte Plade, idet Tværbjælkernes relative Stivhed er langt mindre end

Hoveddragernes i forrige Paragraf. Man maa derfor langt hellere nøjes med den skønsmæssige Beregning, hvorefter største positive og negative Momenter sættes til $0,8(M_g + M_o)$, idet M_g og M_o gælder for simpel Understøtning; Transversalkræfterne kan beregnes som for simpel Understøtning (Q_o) eller hellere lidt rigeligere f. Ex. $Q_o \pm \frac{0,8 M_g}{\lambda}$, hvor λ er den sekundære Draggers Længde. — Det er ikke ualmindeligt at se Konsoller anvendt ved de sekundære Draggers Tilslutning til Tverrbjælkerne; dette fordyrer dog Formskallingen lidt for meget, saa man maa hellere, om muligt, føre den ved Tilslutningen nødvendige større Højde igennem over hele Længden. Det er ubetinget nødvendigt at anvende en øvre Armering over det hele.

Trottoirerne faa bedst Fald indad til en Rendesten langs Hoveddrageren. Ved ringe Bredde kan maaske Pladen alene krages ud fra Hoveddrageren, ellers maa der tilføjes Konsoller i Forlængelse af Tverrbjælkerne. Pladen kan da armeres enten parallelt med eller vinkelret paa Hoveddrageren, idet der i sidste Tilfælde lægges en sekundær Længdedrager yderst (Fig. 18). Ogsaa naar Pladen bærer frit fra Konsol til Konsol, afsluttes den udvendig med en Fortykkelse (Kantningsdrager), hvori Rækværket faststøbes.

Angaaende Vandafledning, Overfladefald og Isolering gælder det samme som i forrige Paragraf.

Hoveddragerne. Den theoretiske Længde l bliver her større i Forhold til Aabningen L end i forrige Paragraf; den kan i Almindelighed sættes til: $l = L + 1,0$ m. Tværnsitsformen er simplest den rektangulære. Højden er til en vis Grad vilkaarlig (i Almindelighed $h = 1/8 l - 1/10 l$), saa man kan vælge den gunstigste, hvis ikke Udseendet eller Hensynet til Udsigten eller det frie Overblik sætter Grænser; f. Eks. kan det ofte være ønskeligt ikke at lade Drageren naa højere op end til Rækværks-højde. Bredden bliver let betydelig ($b = 1/40 l - 1/60 l$), op til 70 cm og mere, hvis Trykflangen skal blive stærk nok, selv om man næsten altid anvender en rigelig Tryk-Armering. Med den store Bredde følger imidlertid en stor Egenvægt, og for at formindske denne foretager man gerne Udsparinger i Kroppen, hvorved man kommer til Tværnsitsformer som de i Fig. 19-20 viste (i Fig. 20 ses tillige en udvendig Tværafstivning for Drageren, hvad navnlig kan være hensigtsmæssigt ved lave Tverrbjælker; ved Jernbanebroer kan Afstivningen ogsaa lægges indvendig). Set fra Siden faar Udsparingerne den i Fig. 21 viste Form, hvorved tillige opnaas et mindre ensformigt Udseende. I enkelte Tilfælde er Udsparingerne kun anbragte af Hensyn til Udseendet og har da kun faa Centimeters Dybde; ellers lader man bedst Dybden aftage hen mod Enderne af Broen, hvor Forskydningsspændingerne bliver større og Opbøjningen af Armeringsjærnene kræver Plads. — En Formindskelse af Egenvægten kan ogsaa opnaas ved at lade Dragerhøjden aftage hen mod Enderne, hvorved man maaske ligeledes kan forbedre Udseendet (afkortet Parabeldrager eller som Fig. 22).

Kommer man til altfor store Dimensioner af Trykflangen, naar der kun anvendes en almindelig Tryk-Armering, kan der blive Spørgsmaal om en Bevikling eller maaske om Anvendelse af v. Empergers Tryk-Armering med en Støbejærns-Kærne inden i den beviklede Beton; herom nærmere i § 10.

Man er dernæst fra Udsparingerne gaaet videre til fuldstændig Gen-nembrydning af Kroppen, men hvis Hullerne da ikke er meget smaa, kræver dette en særlig Armering af de tilbageblivende "Vertikaler", og man kommer saaledes til Vierendeel-Drager (T.S.II, § 54). Disse kan formes som Paralleldrager, Halvparabeldrager o.l. (ogsaa som Fig. 22) og faar ofte et massivt Fag ved Enderne, hvor Vertikalerne vilde blive meget svære, især for Paralleldrager. Ved de krumlinede Former med aftagende Højde hen mod Enderne formindskes Bøjningspaavirkningerne i Vertikalerne (lige som Gitterstangs-Spændingerne i krumlinede Gitterbjælker) og dermed Vanskelighederne ved en upaaklagelig Anordning af Armeringen. Videst i saa Henseende naar man ved den egentlige Parabeldrager, hvor Hoved og Fod løber sammen i en Spids over Understøtningerne; her kan Vertikalerne gøres ret spinkle, og ser man helt bort fra deres Stivhed, kommer man til en Overgangsform mellem Vierendeelbjælken og Buen med Trækstang, hvor Hoved og Fod (Bue og Trækstang) saa nogenlunde deler Bøjningspaavirkningen imellem sig. Gör man endelig Fodens Stivhed langt mindre end Hovedets, faar man den almindelige Bue med Trækstang.

Endelig har man (Considère, Visintini) i enkelte Tilfælde anvendt Gitterdragere, bedst krumlinede for at formindske Paavirkningerne i Gitterstangerne og derved lette Knudepunktsforbindelserne. Det er overhove-

det fra disse, at Vanskelighederne ved Konstruktionen (og dermed Betænk- lighederne ved den) hidrører; ogsaa de sekundære (Bøjnings-) Spændinger er dog betænkelige her end i Jærkonstruktioner. Gitterudfyldningen for- mes bedst saaledes, at Diagonalerne bliver Trykstænger, Vertikalerne Træk- stænger, dels fordi Betonen udnyttes bedst, naar Trykstængerne er de læng- ste, dels fordi Vanskeligheden ved Knudepunktsforbindelsen navnlig hidrø- rer fra Trækstængernes Forankring, og denne er simplest at iværksætte, naar Trækstængerne staar nogenlunde vinkelret paa Flangerne, saa Jærnene er mindre udsatte for at glide paa hverandre.

Lejerne. Da Dragernes Tryk paa Pillerne her let bliver adskilligt større end i forrige Paragraf, er det kun ved de mindste Broer af denne Slags, man kan undvære egentlige Lejer. I Almindelighed er der udført Plade- (Glide-) -Lejer af Støbejern eller Staalstøbegods, bedst med hvæl- vet Overflade, ved de større Dimensioner ogsaa Vugge- og Rulle- eller Pen- dul-Lejer. I enkelte Tilfælde har man (som ogsaa nævnt i forrige Paragraf) forsøgt Pendul-Lejer, hvor Pendulet er fremstillet som en armeret Beton- Kvader, begrænset af Cylinderflader foroven og forneden; saadanne Kvadere dimensioneres paa lignende Maade som de nedenfor (under Buebroer, § 10) omtalte Beton-Charnierkvadere.- En Indspænding i Pillerne er sjældnere ud- ført ved disse Broer.

§ 4. Endepiller og Fløje. Disse kan fremstilles af Murværk af forskel- lig Art, Beton eller Jærnbeton, men kun om den sidste Konstruktion skal her meddeles nogle nærmere Oplysninger. Overbygningens Tilslutning til Piller- ne i Tilfælde af simpel Understøtning har været omtalt tidligere (§ 2, Fig. 11a-b).

Den simpleste Form af en Jærnbeton-Beklædningsmur er den i Fig. 23-24 viste Vinkel-Mur, bestaaende af en lodret Væg til Begrænsning af Jor- den og indspændt i en Fodplade, der enten kun strækker sig ind under Jord- fylden bagved (Fig. 23) eller (bedre) tillige har et Fremspring foran Væg- gen (Fig. 24). Man udnytter paa den Maade Jordfyldens Vægt til Frembrin- gelse af eller Forøgelse af Stabiliteten.- Den rene Vinkelmur er dog kun økonomisk op til en Højde paa 3-4 m; ved større Højde tilføjér man de i Fig. 25-26 viste trekantede Ribber til Forbindelse af Væg og Fodplade. Herved forandres de enkelte Deles Virkemaade fuldstændigt, saaledes som det fremgaar af Bemærkningerne om Beregningen nedenfor. Undertiden tilføjés yderligere en Bjælke (Ribbe) langs Fodpladens Bagkant (Fig. 26), maaske ogsaa langs dens Forkant, og undertiden opløser man ogsaa Fodpladens Frem- spring foran Væggen i en tyndere Plade og Ribber i Flugt med Ribberne bag- ved (Fig. 26). Foroven afsluttes Væggen gerne med en Fortykkelse (som en Dæksten paa en Mur eller Hammer paa et Bolværk) med Fald paa Overfladen for Vandafledningens Skyld; om ønskes, kan her ovenpaa ogsaa anbringes en Dæk- sten af Granit el. lign.

Ved Beregningen maa der skelnes mellem Muren som Hele, dens Stabili- tet og Tryk paa Grunden, og Bestemmelsen af de enkelte Deles Dimensioner.

Hvad det første Spørgsmaal angaar, er det ganske almindeligt, og har navnlig været det tidligere, at man betragter Jorden til venstre for den lodrette Plan B C i Fig. 27 som hørende med til Mur-Vægten og regner Muren paavirket af Jordtrykket paa samme lodrette Plan. Der er imidlertid ingen Grund til, at Plan B C snarere skulde optræde som Skilleplan (mellem den Del af Jorden, som følger med Muren, og det nedglidende Jordprisme, der frembringer Jordtrykket) end en hvilken som helst anden Plan. Man maa di- mensionere Muren saaledes, at den er stabil, selv om den farligste Skille- plan indstiller sig, og det kan vises, at dette er den Plan B E (Fig. 27), der danner Vinklen $45^\circ - \frac{\phi}{2}$ med den lodrette (se Tekn. Tidsskrift 1917, Afd. f. Jærnbeton, S. 4). Beviset forudsætter imidlertid, at Punktet E lig- ger til højre for D i Fig. 27, men Bredden af Fodpladen vil meget ofte væ- re saa lille, at man ved at afsætte den nævnte Vinkel kommer til en Plan som B E₁ i Fig. 27, og en nærmere Undersøgelse viser saa, at den absolut farligste Skilleplan ganske vist omtrent er den, der halverer Vinklen mel- lem B D og B E₁ (idet $\angle C B E_1 = 45^\circ - \frac{\phi}{2}$), men at man dog ikke begaar nogen stor Fejl ved at regne med B D. Dette kan derfor anbefales i almin- deligt forekommende Tilfælde.- Beregningen gennemføres da saaledes, at man betragter Jordfylden til venstre for B D som hørende med til Muren og regner med Jordtrykket paa B D.

Naar Jordoverfladen er vandret og Højden h (Fig. 27) bekendt, faar man (se Tekn. Tidsskr., ovenfor) den mindste Bredde b_h af Fodpladen efter

følgende Formler, hvor Betegnelserne (foruden de i Fig. 27 angivne) er:

γ --- Jordfyldens Vægt pr. Kubikenhed (f. Eks. kg/m^3),
 p --- Belastningen paa Overfladen (" kg/m^2),
 $\frac{p}{\gamma h} = K$ (rent Tal; for $p = 0$ er $K = 0$) (" kg/m^2),
 n ... tilladeligt Tryk paa Grunden (" kg/m^2),
 k_v og k_t ... Koefficienterne til Bestemmelse af Jordtrykkets vandrette ($\frac{1}{2} \gamma h^2 k_v$) og lodrette Komponent ($\frac{1}{2} \gamma h^2 k_t$), givne ved:

$$K_v = \left(\frac{\cos(\varphi - \varepsilon)}{\cos \varepsilon (1 + \sqrt{m})} \right)^2, \quad k_t = K_v \operatorname{tg}(\varphi_1 + \varepsilon),$$

$$m = \frac{\sin \varphi \sin(\varphi + \varphi_1)}{\cos \varepsilon \cos(\varphi_1 + \varepsilon)},$$

hvor $\varepsilon = \angle C B D$ i Fig. 27 og φ og φ_1 er Friktionsvinklerne for Jord paa Jord og Jord paa "Mur" ($\varphi_1 = \varphi$ eller forsigtigere $\varphi_1 = \frac{2}{3} \varphi$):

$$\text{naar } h > h_2 = \frac{2r}{\gamma} \frac{n-1}{2-n+\frac{k_t}{K_v}(1+\frac{2K^2}{1+3K})}, \quad (4)$$

er Trykket paa Grunden alene bestemmende, og man faaar:

$$\alpha = k_t(1+2K) \left[-1 + \sqrt{\frac{2 - \frac{1+3K}{1+2K} + \frac{K_v}{K_t^2} \cdot \frac{1+3K}{(1+2K)^2}}{2 + \frac{\gamma h}{K_v}}} \right] \quad (5)$$

og

$$\beta = \frac{\gamma h}{3r} (\alpha + k_t(1+2K)) + \frac{2\alpha^2 + (\alpha k_t + K_v)(1+3K)}{3(\alpha + k_t(1+2K))} \quad (6)$$

$$\text{naar } h < h_1 = \frac{2r}{\gamma} \frac{n-1}{n + \frac{K_t^2}{K_v}(1 + \frac{2K^2}{1+3K})}, \quad (7)$$

er Sikkerheden mod Kæntring alene bestemmende, hvorved:

$$\alpha = k_t(1+2K) \left[-1 + \sqrt{1 - \frac{1}{2} \frac{1+3K}{1+2K} + \frac{n}{2} \frac{K_v}{K_t^2} \cdot \frac{1+3K}{(1+2K)^2}} \right] \quad (8)$$

$$\text{og } \beta = \frac{2\alpha^2 + (\alpha k_t + n K_v)(1+3K)}{3(\alpha + k_t(1+2K))}; \quad (9)$$

naar endelig $h_2 > h > h_1$, faar man netop den forlangte Sikkerhed i begge Henseender ved

$$\alpha = k_t(1+2K) \left[-1 + \sqrt{\frac{(n-1)r}{\gamma h} \frac{K_v}{K_t^2} \cdot \frac{1+3K}{(1+2K)^2}} \right] \quad (10)$$

og β efter (9). - Da $\alpha = \operatorname{tg} \varepsilon$ (se Fig. 27), er k_t og k_v i Virkeligheden afhængige af α , og man maa derfor benytte Formlerne paa den Maade, at man begynder med at skønne α og beregne k_t og k_v hermed; dernæst maa man ved en løselig Beregning efter (4) og (7) afgøre, hvor det givne h ligger i Forhold til h_2 og h_1 , og saa efter den herved udskilte af Formlerne (5), (8) eller (10) bestemme α . Naar dette α ikke stemmer med det skønnede, maa man regne om og efter et Par saadanne Forsøg interpolere sig til det rigtige α .

Beregningen af Murens enkelte Dele. Ved den rent vinkelformede Mur beregnes den lodrette Væg som en fornedet indspændt, foroven fri Bjælke, paavirket til Bøjning af Jordtrykkets vandrette Komponent; i Almindelighed benytter man for denne det simple Udtryk: $(\gamma h + p) \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{1}{2} \varphi)$ pr. Længdeenhed. Forankringen af den lodrette Armering frembyder nogen Vanskelighed paa Grund af den sædvanlig ikke ret store Betontykkelse i Fodpladen, men maa udføres meget omhyggeligt, f. Eks. ved et svært vandret Rundjern fornedet, hvorefter Armeringsjærnene griber. Den i Fig. 28 viste Sløjfe er næppe helt upaaklagelig, idet den ikke hindrer en Revne ved a , saa der maa i alt Fald tilføjes en Armering i Hjørnet som ogsaa vist i Fig. 28. Til Sikring af den lodrette Armerings Stilling indlægges vandrette spinkle Fordelingsstænger i 15-25 cm Afstand. - Fodpladens Fremspring foran Væggen beregnes for Bøjning af Modtrykket fra Grunden; største Moment er (med Betegnelserne i Fig. 29): $\frac{1}{6} a^2 (2\sigma_1 + \sigma_2)$, største Transversalkraft: $\frac{1}{2} a (\sigma_1 + \sigma_2)$. - Den bageste Del af Fodpladen paavirkes til Bøjning af Modtrykket fra Grunden opad og Jordvægten (under Linien B D i Fig. 27) + Jordtrykkets lodrette Komponent nedad.

For Ribbe-Muren i Fig. 25-26 betragtes Forpladen (Væggen) som en vandret Bjælke, understøttet paa Ribberne og paavirket til Bøjning af Jordtrykkets vandrette Komponent (sædvanlig, som ovenfor, efter Formlen: $q = (\gamma h + p) \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \frac{1}{2}\varphi)$); paa Grund af Kontinuiteten kan største positive og negative Moment begge regnes til $\pm \frac{1}{10} q l^2$ og $\pm \frac{1}{12} q l^2$, hvor l er Ribbe-Afstanden; undertiden regnes ogsaa (men noget knebent) $-\frac{1}{12} q l^2$ og $+\frac{1}{24} q l^2$. Afstanden l er for de almindelige mindre Højder gerne 1,5 - 2,5 m; den gunstigste Afstand faar man, naar en Ribbe og et Fag af Pladen koster lige meget. - Ribben betragtes som en forneden indspændt Bjælke med T-Tværsnit og paavirket til Bøjning af den vandrette Komponent af Jordtrykket for et Fag. Den langs Ribbens Bagkant anbragte Hoved-Armering maa forankres omhyggeligt forneden, i hvilken Henseende det er en Fordel at tilføje en vandret Bjælke langs Fodpladens Bagkant som i Fig. 26 (se ogsaa Fig. 30); Armeringsjærnene bøjes af, efterhaanden som de ikke behøves mere for Momentets Skyld. Dernæst anbringes, som det ses i Fig. 30, en sekundær Armering af baade vandrette og lodrette Stænger; disse skal dels optage Forskydningsspændingerne, hvis de opbøjede Hoved-Armeringsjærn ikke er tilstrækkelige hertil, dels sikre Forbindelsen mellem Ribben og Forplade og Bundplade. De vandrette Stænger skal derfor kunne optage Trækket fra hele den vandrette Komponent af Jordtrykket paa et Fag af Væggen, de lodrette Stænger Trækket fra Jordvægt + lodret Jordtryks-Komponent, ligeledes paa et Fag. - Bundpladens bageste Del bærer frit fra Ribbe til Ribbe (Moment $\pm \frac{1}{10} q l^2$ og $\pm \frac{1}{12} q l^2$), eller hvis der findes en Bjælke langs dens Bagkant, ogsaa fra denne Bjælke til Væggen. Fremspringet foran Væggen behandles ligesom ovenfor, hvis det er massivt; opløses det i en Bundplade og Ribber (i Flugt med dem bagved Væggen), beregnes Pladen som fritbærende fra Ribbe til Ribbe.

Det nu meddelte om Beklædningsmure i Almindelighed kan uden videre anvendes paa Fløjene. Ved Konstruktionen af selve Endepillerne maa der tillige tages Hensyn til Hoveddragernes Understøtning. En ren Vinkel-Mur kan derfor kun anvendes ved ganske smaa Dimensioner (smaa Drager-Tryk); ellers vil man anordne en Fortykkelse af den lodrette Væg lige under Dragerne, hvorved Ribbe-Muren frembyder sig som den naturlige Løsning. Fig. 31 viser, hvorledes den øverste Del af Muren kan formes (svarende til Fig. 11a).

Ved Anvendelse af Parallelfloje, og navnlig naar Afstanden mellem disse ikke er ret stor, skaffer man hyppigt Stabiliteten til Veje ved at forankre de to Fløje mod hinanden. Ankrene formes som Jærnbeton-Bjælker, med tagformet Overside for at formindske det lodrette Tryk fra Jordfylden, og bedst beliggende saa dybt under Vej-Overfladen, at Belastningens Tryk ikke faar for stor Betydning. Fig. 32 viser et Par saaledes forankrede Fløje, udførte som Ribbe-Mur-Konstruktion. I Stedet for flere enkelte Ankre over hinanden i samme lodrette Snit kan man ogsaa anvende en sammenhængende lodret Plade, der naar helt eller næsten op til Overfladen. I det hele er det ofte praktisk, naar man anvender Jærnbeton-Konstruktion, at betragte Endepille og Fløje (Parallelfloje) som ét sammenhængende hult Legeme, der ved Tvær- (og eventuelt ogsaa Længde-) Skillevægge kan deles i Celler, saaledes at de enkelte Elementer understøtter hinanden; de vandrette Strimler af de enkelte Vægge paavirkes da (ligesom i Silo-Konstruktioner) kun til Bøjning og Træk.

Ved længere Fløje kan man bedre her end ved almindelige Mur-Konstruktioner aftrappe Fundamenterne og derved lade Højden aftage. Ligeledes kan der være Tale om kun at fundere lange Fløjmure i enkelte Punkter og lade dem bære frit (som Bjælker) imellem disse; noget saadant kan navnlig være fordelagtigt, hvor der maa anvendes Pælefundament.

- En videre Udformning af denne Tanke har man i de frit udkragede Fløje, der ret hyppigt er komne til Udførelse, navnlig ved mindre Dimensioner. Fløjen hviler her slet ikke paa noget særligt Fundament, men er kraget frit bagud fra Pillen; Fløjens Underkant naar kun ca. $\frac{1}{2}$ m ned under den ydre Jordkegles Overflade. Fig. 33 viser en saadan mindre Vinkelfløj, der alene ved sin Bøjningsmodstand skal optage Jordtrykket, Fig. 34 mere skematisk en større Parallelfløj, hvor der er tilvejebragt en ekstra Understøtning (foruden den ved Pillen) ved Hjælp af Ankre over til den anden Fløj. Fløjmuren er i Fig. 34 opløst i en Plade og et Antal Ribber, der understøttes ved Pillen og af Ankrene og paavirkes til Bøjning af Jordtrykket. Desuden faar man en Bøjning i lodret Retning fra Egenvægten, hvorfor der maa indlægges en kraftig Armering foroven, og endelig maa Sta-

biliteten af det hele, af Pille og Fløje dannede Legeme undersøges for det Tilfælde, at Jorden endnu ikke er fyldt til bagved og Overbygningen ikke endnu er anbragt. Af Hensyn til dette Stabilitetsspørgsmaal passer disse frit udkragede Fløje bedre, naar Overbygning og Piller er støbte i ét (se næste Paragraf).

Anvendelsen af en Forankring er forøvrigt ikke indskrænket til Parallelfløje, som kan forbindes indbyrdes; man kan ogsaa paa den Maade skaffe den nødvendige Stabilitet for selve Endepillerne (og for Vinkelfløje), men maa i saa Fald føre Ankrene ind til Pælebukke i Fylden bagved ligesom ved en Bolværks- eller Kaimur-Konstruktion. Saadanne Ankerbukke fremstilles langt sikrere af Jærnbeton- end af Træpæle, idet man efter Ramningen fjerner Betonen paa det øverste Stykke, bøjer Armeringsjærnene i de til samme Buk hørende Pæle om, saa de griber godt ind i hinanden og støber det hele sammen med frisk Beton. Forbindelsen udføres lige let, enten Pælene staar skraat eller lodret, og man stiller derfor ofte baade Tryk- og Træk-pælene skraat (med Hældning i modsatte Retninger) og opnaar saaledes en større Vinkel mellem disse Pæle, og derved mindre Kraftkomposanter. Endelig kan man ogsaa udnytte Jordfyldens Egenvægt til at skaffe en sikre Stilling af Ankerbukkene, saaledes som det ses i Fig. 35, der skematisk viser Firmaet Christiani & Nielsens Kaimurkonstruktion med belastede Pælebukke (Dansk Patent Nr. 10318, 1907); med passende Modifikation kan denne ogsaa finde Anvendelse som Endepille for en Bro, hvor Overbygningen skal hvile løst paa Pillerne.

Om selve Funderingsmaaden for Endepiller og Fløje er der her ikke Anledning til at bemærke andet, end at man mere og mere anvender Jærnbetonpæle i Stedet for Træpæle, naar der overhovedet skal rammes. Man bliver derved uafhængig af Grundvandspejlet og faar ved Sammenstøbningen af Pæle og Mur en anderledes sikker Forbindelse end ved Træpæle, saaledes at et Træk ogsaa kan overføres.

Derimod skal her meddeles noget om Beregningen af et Pælefundament, der indeholder baade Lod- og Skraapæle. Den sædvanligt anstillede Beregning hviler paa forskellige vilkaarlige Forudsætninger. Vanskeligheden ligger i mange Tilfælde i, at Pælene ikke staar lige fast, saa der ikke er noget konstant Forhold mellem Trykket paa en Pæl og dennes (elastiske eller uelastiske) Bevægelse eller Eftergiven for Trykket. Kun hvis Pælene er rammede ned til et fast Lag, hvortil de afleverer hele deres Tryk, har man med et fuldkommen defineret Problem at gøre; Pælens Eftergiven hidrører da alene fra dens elastiske Forkortelse, og herved er Trykfordelingen over Pælene fuldstændig bestemt. Men selv om Forholdene ikke er saa simple, synes det en rimelig Antagelse for et vel udført Pæleværk, at der er et konstant Forhold mellem Trykket paa en Pæl og Pælehovedets Bevægelse, og ud fra denne Forudsætning er der ingen Vanskelighed ved at opstille en korrekt Beregning, idet man da kun behøver at forudsætte, at Formforandringerne af den Murklods (Betonfundament), der bæres af Pælene, er forsvindende i Sammenligning med Pælehovedernes Bevægelser.

Pælene antages til at begynde med simpelt understøttede baade foroven og forneden, saa de kun kan blive paavirkede til Tryk (Træk) efter deres Længderetning. Murklodsen vil da faa en lille Bevægelse (uden Formforandring), der som bekendt altid kan opfattes som en Drejning om et eller andet Punkt O (Fig. 36 a, Pl. 7). Hvis dette Punkt samt Drejningsvinklens Størrelse φ er bekendt, kan man finde Flytningen $r\varphi$ af de forskellige Pælehoveder og Flytningens Projektion ind paa Pælen $r\varphi \cos \varphi = p\varphi$ (Fig. 36 a), hvor p betyder den vinkelrette Afstand fra O til Pælen. Hvis Pælens Spids staar fast, saa Pælehovedets Flytning kun hidrører fra en elastisk Længdeforandring, bliver Trykket S i Pælen (Tryk positivt, φ positiv med Uhrviseren):

$$S_r = \frac{EF_r}{s_r} \cdot p_r \varphi, \quad (11)$$

idet F_r og s_r betegner Pælens Tværsnit og Længde, og den lodrette og vinkelrette Komposant af Trykket bliver, idet man sætter:

$$V_r = \frac{EF_r}{s_r} \cos^2 \alpha_r, \quad (12)$$

$$S_r \cos \alpha_r = V_r \varphi \cdot p_r \sec \alpha_r, \quad S_r \sin \alpha_r = V_r \tan \alpha_r \varphi \cdot p_r \sec \alpha_r. \quad (13)$$

Selv om det nu ikke alene er Pælens Forkortelse, der er Aarsag til Bevægelsen, men ogsaa en Nedtrykning af Pælen som Hele, vil det være rimeligt at gaa ud fra (13), blot med en noget anden Værdi af Konstanten V_r . For

Lodpæle betyder v_r da det Tryk i Pælen, der svarer til en Bevægelse 1 af Pælehovedet i lodret Retning, for Skraapæle er $v_r \text{ lig } \cos^2 \alpha$ Gange det Tryk, der fremkaldes af Bevægelse 1 i Skraapælens Retning. At disse Værdier v_r maaske ikke er bekendte, volder i Virkeligheden ingen Vanskelighed, da det viser sig, at det kun er Forholdene mellem Størrelserne v_r , der faar Betydning.

Vi indskrænker os nu til det Tilfælde, at alle Pælehovederne ligger i samme Plan (Fig. 36 b, Pl. 7). Pælene danner Vinklerne α med Normalen paa denne Plan (positiv, naar Pælen afviger fra Normalen til samme Side som Resultanten R af de ydre Kræfter), og der lægges et Koordinatsystem med x-Aksen parallel med Pælehovedernes Plan og et foreløbig ubekendt Begyndelsespunkt; dets Højde over den nævnte Plan kaldes y_0 . Idet Drejningspunktet har Koordinaterne ξ, η , har man for en vilkaarlig Pæl

$$p_r \sec \alpha_r = \xi - x_r + (\eta + y_0) \operatorname{tg} \alpha_r, \quad (14)$$

og ved Indførelse heraf i (13):

$$\left. \begin{aligned} S_r \cos \alpha_r &= v_r \varphi (\xi - x_r + (\eta + y_0) \operatorname{tg} \alpha_r), \\ S_r \sin \alpha_r &= v_r \operatorname{tg} \alpha_r \cdot \varphi (\xi - x_r + (\eta + y_0) \operatorname{tg} \alpha_r). \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Mellem disse Tryk og Resultanten R (med Komposanterne V og H, se Fig. 36 b) har man følgende tre Ligevægtsbetingelser:

$$\left. \begin{aligned} V &= \sum S_r \cos \alpha_r, & H &= \sum S_r \sin \alpha_r, \\ M + \sum S_r \cos \alpha_r \cdot x_r - y_0 \sum S_r \sin \alpha_r &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

og heraf kan de tre eneste ubekendte, ξ, η og φ , bestemmes, hvorefter Pæletrykkene er bekendte ifølge (15). M betegner Momentet af R om Begyndelsespunktet, positivt med Uhrviseren.

Den nærmere Udførelse af Beregningerne vilde her føre for vidt (de vil blive meddelte i "Tekn. Forenings Tidssk." i en nær Fremtid), saa vi indskrænker os til følgende Resultater.

Man begynder med at bestemme Tyngdepunkterne A og B (Fig. 36 c, Pl. 7) for de parallelle "Kræfter" v_r og $v_r \operatorname{tg} \alpha_r$ med Angrebepunkter i Pælehovederne, saaledes at Afstanden c mellem disse Punkter er kendt. Med Betegnelserne:

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{\sum v_r \operatorname{tg} \alpha_r}{\sum v_r}, \quad \operatorname{tg} \alpha'' = \frac{\sum v_r \operatorname{tg}^2 \alpha_r}{\sum v_r \operatorname{tg} \alpha_r} \quad (17)$$

haves Begyndelsespunktet bestemt ved:

$$y_0 = \frac{c}{\operatorname{tg} \alpha'' - \operatorname{tg} \alpha'}, \quad x_0 = y_0 \operatorname{tg} \alpha', \quad x_0' = y_0 \operatorname{tg} \alpha'', \quad x_0' - x_0 = c \quad (18)$$

og endvidere er

$$\varphi = \frac{M}{I}, \quad \text{hvor } I = \sum v_r x_r^2 - x_0 x_0' \sum v_r, \quad (19)$$

$$\text{og } \xi = -\frac{I}{f \sum v_r} \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha'' - \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha'' - \operatorname{tg} \alpha'}, \quad \eta = -\frac{I}{f \sum v_r \operatorname{tg} \alpha_r} \cdot \frac{\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha'}{\operatorname{tg} \alpha'' - \operatorname{tg} \alpha'}, \quad (20)$$

hvor $M = -V \cdot f$ (se Fig. 36 c) og $\operatorname{tg} \beta = \frac{H}{V}$.

Endelig bliver den lodrette Komposant af Pæletrykket:

$$\begin{aligned} S_k \cos \alpha_k &= V \frac{v_k}{\sum v_r} \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha'' - \operatorname{tg} \alpha_k}{\operatorname{tg} \alpha'' - \operatorname{tg} \alpha'} + H \frac{v_k}{\sum v_r \operatorname{tg} \alpha_r} \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha_k - \operatorname{tg} \alpha'}{\operatorname{tg} \alpha'' - \operatorname{tg} \alpha'} \\ &\quad - M \frac{v_k}{I} (x_k - y_0 \operatorname{tg} \alpha_k). \end{aligned} \quad (21).$$

Sidste Led ses i Fig. 36 c at kunne skrives simplere, idet $(x_k - y_0 \operatorname{tg} \alpha_k)$ betyder Akscissen z_k til det Punkt, hvor Pælens Midtlinie skærer x-Aksen, og endvidere kan forøvrigt Størrelsen I vises at være lig $\sum v_r z_r^2$.

Hvis man ved Beregningen finder en negativ Værdi (Træk) for S, og Forbindelsen mellem Pæl og Fundamentklods ikke er indrettet paa Overførelse af Træk, maa Beregningen gøres om, idet vedkommende Pæl udelades.

Specielle Tilfælde: 1. Lutter Lodpæle. Den vandrette Kraft H maa da optages paa anden Maade, saa Pælegruppen paavirkes kun af V og et Moment. Formlerne udledes simplest umiddelbart og er forøvrigt bekendte nok. Trykket i den vilkaarlige Pæl bliver:

$$S_K = V \frac{V_K}{\sum v_r} - M \frac{V_K x_K}{\sum v_r x_r^2} = \frac{V}{n} - \frac{M x_K}{\sum x_r^2}, \quad (22)$$

hvor der i det sidste Udtryk er forudsat, at alle (n) Pæle er ganske ens. x regnes ud fra Tyngdepunktet for "Kræfterne" v (+ til venstre), M er Momentet af V om Tyngdepunktet (+ med Uhrviseren).— I det hele taget findes Pæletrykkene i dette Tilfælde ganske som Spændingerne i et Bjelketværsnit, saa ogsaa usymmetriske Anordninger (skøv Bøjning) behandles uden Vanskelighed.

2. Pælegruppen indeholder baade Lod- og Skraapæle, men de sidste har alle samme Hældning (α). Summerne $\sum v_r \tan \alpha$ og $\sum v_r \tan^2 \alpha$ omfatter da kun Skraapælene. Betegnes saadanne Summer ved $\sum_2$, de der kun omfatter Lodpælene ved $\sum_1$, altsaa $\sum = \sum_1 + \sum_2$, have $\sum v_r \tan \alpha_r = \tan \alpha \sum_2 v_r$, $\sum v_r \tan^2 \alpha_r = \tan^2 \alpha \sum_2 v_r$, og de ved (17) og (18) bestemte Størrelser bliver:

$$\alpha'' = \alpha, \quad \tan \alpha' = \tan \alpha \cdot \frac{\sum_2 v_r}{\sum v_r},$$

$$x_0 = c \frac{\sum_2 v_r}{\sum_1 v_r}, \quad x'_0 = c \frac{\sum v_r}{\sum_1 v_r}, \quad y_0 = x'_0 \cot \alpha.$$

y-Axen gaar gennem Tyngdepunktet for Lodpælene alene, Begyndelsespunktet falder i Skæringspunktet for denne y-Axe og en Linie parallel med Skraapælene gennem Tyngdepunktet for disse sidste alene. Inertimomentet (19) kan skrives:

$$I = \sum v_r x_r^2 - x_0'^2 \sum_2 v_r = \sum_1 v_r x_r^2 + \sum_2 v_r (x_r - x_0')^2,$$

og man finder Trykket i en

$$\left. \begin{aligned} \text{Skraapæl:} \quad S_K \cos \alpha_K &= H \cot \alpha \cdot \frac{V_K}{\sum_2 v_r} - M \frac{V_K}{I} (x_K - x_0'), \\ \text{Lodpæl:} \quad S_K &= (V - H \cot \alpha) \frac{V_K}{\sum_1 v_r} - M \frac{V_K}{I} x_K. \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Naar alle Pælene er ens, bliver $\frac{\sum_2 v_r}{\sum v_r} = n_s =$ Antallet af Skraapæle og

$\frac{\sum_1 v_r}{\sum v_r} = n_l =$ Antallet af Lodpæle. Hvis der kun findes en enkelt Række Skraapæle, bliver $x'_0 =$ Abscissen x_K til Skraapælene, hvorved $I = \sum_1 v_r x_r^2$ og Momentets Bidrag til Trykket i Skraapælen falder bort; Skraapælene paavirkes kun af Komposanten $H \cot \alpha$, Momentet optages alene af Lodpælene. Med flere Rækker Skraapæle faas derimod ogsaa et Bidrag til Skraapælernes Tryk fra Momentet.

3. Pælegruppen er symmetrisk om en lodret Axe, og alle Skraapælene har Hældningen α eller $-\alpha$. I saa Fald er $\sum v_r \tan^2 \alpha_r = \tan^2 \alpha \sum_2 v_r$ (idet $\sum_2$ udstrækkes over alle Skraapælene) og $\sum v_r \tan \alpha_r = 0$, $c = 0$, hvorved $x_0 = x'_0 = y_0 = 0$ og $\alpha' = 0$, $\alpha'' = 90^\circ$. Pæletrykket bliver i en

$$\left. \begin{aligned} \text{Skraapæl:} \quad S_K \cos \alpha_K &= V \frac{V_K}{\sum v_r} + H \cot \alpha \frac{V_K}{\sum_2 v_r} - M \frac{V_K}{I} x_K, \\ \text{Lodpæl:} \quad S_K &= V \frac{V_K}{\sum v_r} - M \frac{V_K}{I} x_K, \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

hvor $I = \sum v_r x_r^2$ og M er Momentet af V med Hensyn til Symmetriaxen.

For en usymmetrisk Anordning af Pælene med mere end én Hældning af Skraapælene maa man bruge de almen gyldige Formler ovenfor. Hvis Pælehovederne ikke alle ligger i samme Plan, bliver en ren Beregning ad den her angivne Vej for besværlig; man benytter da simplest en af Dr. Westergaard angiven Fremgangsmaade (Journ. Western Soc. of Eng.'s, Dec. 1917), der kort refereres i den ovenfor omtalte Art. i "Tekn. Tidsskrift".

Hvis Pælene er indspændte i Fundamentet foroven, saaledes som det

ofte vil være Tilfældet med Jærnbetonpæle, og maaske tillige regnes indspændte foruden, kan Beregningen gennemføres paa lignende Maade, men bliver en Del besværligere. Indspændingen vil imidlertid ikke forandre selve Pæletrykkene stort; den væsentligste Grund til et gennemføre Beregningen er Ønsket om at kende Indspændingsmomenterne for Pælene for at bedømme disses Anstrengelse. Angaaende den korrekte Beregning maa det her være tilstrækkeligt at henvise til "Tekn. Tidsskr."; et Begreb (om end ikke videre nøjagtigt) om Momenterne i Pælene kan man faa ved at beregne Vinkeldrejningen ϕ under Forudsætning af simple Understøtninger foroven og forneden, altsaa efter (19) ovenfor, dernæst ξ og η efter (20), hvorefter Indspændingsmomentet for den r te Pæl med Indspænding i begge Ender bliver:

$$M_{sr} = \phi \ddot{u}_r s_r (\eta + y_0 - (\xi - x_r) \operatorname{tg} \alpha_r + \frac{4}{3} s_r),$$

hvor

$$\ddot{u}_r = \frac{12 E I_{sr}}{s_r^3} \cos^2 \alpha_r, \quad s_r = \frac{1}{2} S_r \sec \alpha_r;$$

I_{sr} betyder Pæletværsnittets Inertimoment.

§ 5. Overbygningen støbt i ét med Endepillerne, Portal- og Rammebroer. Naar baade Overbygning og Piller er af Jærnbeton, er en Afbrydelse mellem dem egentlig unaturlig; den kræver, i alt Fald saasnart der ikke er Tale om ganske smaa Dimensioner, særlige Lejer, som omtalt i det foregaaende, og bliver derfor let dyrere; Indspændingen bliver saaledes den naturlige Konstruktionsform. Desuden kan man med Anordningen af en Indspænding ogsaa forfølge et ganske bestemt Formaal, nemlig enten at udnytte Pillerens Stivhed til at opnaa en Besparelse paa Overbygningen og til at formindske den nødvendige Konstruktionshøjde, eller omvendt gennem Overbygningens faste Forbindelse med Pillerne at stive disse af mod hinanden og mod Dragerne. I første Tilfælde maa Pillerens Stivhed være den overvejende, i 2det Tilfælde Overbygningens; men dernæst kan der naturligvis ogsaa blive Spørgsmaal om Mellem-Tilfælde, og det er vel navnlig i disse sidste, man bruger Betegnelsen Portal- eller Rammebroer.

En Indspænding af Dragerne i Pillerne udføres, som Fig. 36 viser, ved at føre Armeringsjærnene i Dragerens Overside - bedst med en jævn Runding - ned i Pilleren og forankre dem godt her. Pilleren kan støbes af Beton eller Jærnbeton og formes i sidste Tilfælde som en Vinkelmur, hvis Ribber ligger i Flugt med Dragerne. Fig. 37 viser en saadan Konstruktion; i Stedet for de retlinjede Konsoller, hvormed Dragerne her slutter sig til Pillerne, kan man ogsaa anvende en jævn Runding. Naar Pillerne er tilstrækkelig svære og solidt funderede, kan man ved en saadan Konstruktion naa ned til en Dragerhøjde paa $\frac{1}{10}$ - $\frac{1}{8}$ af Spændvidden, til Nød $\frac{1}{20}$. Hvis det kun er paa den midterste Strækning, Konstruktionshøjden er særlig kneben, anvender man med Fordel en stærk Voxen af Dragerhøjden fra Midten hen mod Enderne, idet man paa den Maade faar et langt mindre Midtermoment og større Indspændingsmomenter (se. T.S.I., S. 328, Ex. 4). Ogsaa Udseendet bliver herved forbedret. Den nødvendige Stabilitet af Pilleren overfor Indspændingsmomentet opnaas i Tilfælde af Vinkelmure forholdsvis let ved at forlænge Fodpladen tilstrækkelig langt bagud og maaske ogsaa forud. - I enkelte Tilfælde, navnlig ved mindre paalidelig Byggegrund, har man i disse indspændte Bjælker indskudt to Charnierer (konstruerede som i næste § omtalt) og ladet Dragerhøjden voxe stærkt fra Charniererne hen mod Indspændingerne.

Fig. 38 viser i Modsætning hertil en Konstruktion, hvor Formaalet med Indspændingen har været at opnaa en billig Endepille. Denne bestaar blot af en 35 cm tyk Jærnbetonplade, der hviler paa og er støbt sammen med en enkelt Række lodrette Jærnbetonpæle og altsaa kun bliver stabil overfor Jordtrykket ved Hjælp af Indspændingen i Overbygningen. Ved Tilfyldningen bag Endepillerne maa det iagttages, at der fyldes nogenlunde samtidigt og lige hurtigt ved begge Ender. De korte Fløje i Fig. 38 er frit udkragede fra Pilleren, men understøttes desuden foroven af Brobænkpladen; Endepillens Længde (tværs paa Broen) er nemlig kun lig Afstanden mellem de yderste Drager, og Fløjene divergerer til Gængæld saa meget, at Afstanden mellem dem ude ved Enderne bliver lig den fulde Brobænk-Bredde; den udkragede Trottoirplade maa derfor i alle Tilfælde fortsættes ud til Enden af Fløje-

ne. Foretrækker man, f. Ex. af Hensyn til Udseendet, virkelige Parallellfløje og Endepiller af samme Bredde som Broen, kan man, som i Fig. 39 antydet, paa indvendig Side af Fløjen tilføje en lignende Trekant-Ribbe, i Fortsættelse af Brobanepladen, som den der i Fig. 38 dannes af den udkragede Trottoirplade.

Fig. 40-42 viser et Par egentlige Portalbroer, med nogenlunde samme Stivhedsgrad af Piller og Dragere. I Fig. 40, der fungerer som en To-Charniers-Portal, er Vægpladen lagt langs Forkanten af Ribberne i Pillen, medens Brobanepladen hele Vejen ligger foroven (langs Dragernes Overkant); denne Ordning er statisk set ikke særlig heldig ved Hjørnerne, hvor der kommer Tryk indvendig. I Fig. 41, der fremstiller en (tilnærmelsesvis) indspændt Portal, er Vægpladen derimod lagt langs Ribbernes Bagkant, hvorved man faar et mindre Areal af den ind mod Jorden vendende Flade (billigere Isolering), men i statisk Henseende er dette snarest endnu mindre heldigt. Fig. 42 viser derimod den statisk korrekte Anbringelse af Pladen, og i de fleste Tilfælde er der aldeles ingen praktisk Vanskelighed forbunden med dette Valg.

Endelig ses i Fig. 43 en fuldstændig lukket Rammekonstruktion, hvor Endepillerne er forbundne med en Plade (eventuelt med Ribber) underneden.

§ 6. Bjælkebroer over flere Aabninger, Mellemunderstøtningerne.

En skematisk Oversigt over de mulige Hoveddrager-Ordninger ses i Fig. 44, specielt for 3 Aabninger. Der kan anvendes en Række simple Bjælker (a), simple Bjælker med overrørende Ender, der ikke støtter paa Endepillerne (b) eller paa hinanden (c), Gerberdragere (d) eller kontinuerlige Dragere med forskellige Arter af Mellemunderstøtninger (e-h). Mellempillerne kan udføres af Murværk eller Beton ligesom for Jærnbroer, men desuden kan man ogsaa her gaa over til Jærnbeton, og da i Almindelighed i Form af enten enkelte Stjler eller Aag (Stjlerne sammenbyggede til en Væg) og med enten charnierformet eller stiv Forbindelse med Hoveddragerne foroven og Fundamenterne forneden (se Fig. 44 f-h).— Brobanen kan naturligvis i alle Tilfælde lægges ovenpaa Hoveddragerne (hyppigst) eller forneden.

En Række simple Bjælker kan der fortrinsvis være Tale om at anvende, hvis man vanskeligt kan fundere Pillerne saaledes, at mindre Synkninger er udelukkede, eller f. Ex. hvor man skal benytte eksisterende murede Piller, hvis Fundamenter maaske bliver forholdsvis stærkere belastede end tidligere. Mellempillerne skal være saa brede, at der bliver Plads til to Lejer. Spillerummet mellem de her sammenstødende to Overbygninger (et Par cm.) overdækkes paa lignende Maade som ved Jærnbroer (se J.K. III, S. 295-98), ved Macadamisering og lignende noget eftergivende Sliddæk saaledes simplest blot ved et Stykke 6-10 mm Fladjærn lige over Fugen i Jærnbetonpladen.— For Udseendets Skyld anvender man undertiden Konsoller eller Afrundinger af Hoveddragernes Underkant ned mod Mellempillerne, men statisk set har saadanne Tilføjelser ingen Betydning.

Simple Bjælker med overrørende Ender (Fig. 44 b) kan ofte give en praktisk Konstruktion ved Vej-, Gade- eller Gangbroer, i saadanne Tilfælde hvor Endepillerne skulde føres forholdsvis dybt ned, hvis de med Sikkerhed skulde kunne optage Trykket fra Overbygningen. Ulempen ved Fugen lige foran Endepillerne er mindre ved Jærnbeton- end ved Jærnbroer paa Grund af de mindre Nedbøjninger. Ved Tilspidsning af de overrørende Ender og Konsoller eller Afrundinger ved Mellempillerne kan man opnaa et ganske tiltalende Udseende (Fig. 45). Mellempillerne kan her ligesom ved de kontinuerlige Dragere nedenfor udføres som Jærnbeton-Stjler eller -Aag, hyppigst indspændte baade foroven og forneden, dog ogsaa undertiden med Charnierer forneden, hvorved man faar en indspændt eller 2-Charniers-Portal.

Gerberdragere er ret sjældent komne til Udførelse og egner sig egentlig ikke for en Jærnbetonkonstruktion (småkn. Bemærkningerne i Begyndelsen af § 5). Dog kan der være Tilfælde, hvor denne Løsning frembyder sig som den naturligeste, f. Ex. ved mindre paalidelig Fundering og daarlig Plads paa Mellempillerne til mere end ét Leje, eller naar man har en stor Midteraabning og samtidig meget kneben Konstruktionshøjde paa en Strækning midt i denne og derimod rigelig Højde henne ved Mellempillerne. Et instruktivt Eksempel ses i Fig. 46; de negative Momenter over Mellempillerne er her blevne saa store, at det har været hødvendtigt at forstørre Trykflangen (forneden) ved at anbringe en Plade paa en kortere Strækning i Midteraabningen og i hele Sideaabninger, og over denne sidste er Mellem-

rummene mellem Dragerne udfyldt med mager Beton som Kontravægt, dels for at hindre Fremkomsten af en negativ Reaktion paa Endepillerne, dels for at formindske de negative Momenter i Sideaabningen. Fig. 47 viser den sædvanlige Konstruktion af Charniererne. Ved kneben Dragerhøjde er denne Konstruktion ret vanskelig; der maa tages Hensyn til Optagelse af Forskydningsspændingerne baade i lodrette og i vandrette Snit (fra Friktionen), og Armeringen maa helst anordnes korrekt efter Systemlinierne i en Gitterdrager med Knudepunkter i Charnier-Vertikalen, og saa vidt muligt med mekanisk Forbindelse mellem Jærnene ved Ombøjninger (Øjer) om en indlagt Dorn (Bolt) eller lignende.

Kontinuerlige Dragere er den hyppigste og naturligste Form for Jærnbeton-Bjælkebroer over flere Aabninger. Om selve Dragerne gælder det meste af det i § 2-3 om simple Bjælker meddelte, saa der er kun Anledning til at gøre et Par Tilføjelser angaaende de af de store negative Momenter fremkaldte særlige Forhold ved Mellemlunderstøtningerne. Der skaffes her gerne en større Dragerhøjde ved Tilføjelse af Konsoller, der af Hensyn til Udseendet ofte afrundes (maaske kun paa de udvendige Dragere; se Fig. 48 a-c); den nedre Armering kan føres retlinet igennem, og langs Konturen indlægges da et Par kortere Jærn, mindst ét i hver Side (Fig. 48 a); undertiden, navnlig ved meget store Konsoller, holder man dog ogsaa hele Armeringen langs Konturen og lægger maaske endog Bøjlerne vinkelret herpaa. Kan man ikke paa denne Maade alene og heller ikke ved en almindelig Tryk-Armering, faa Beton-Trykspændingerne tilstrækkelig langt ned, har man undertiden samtidig med Konsollerne i lodret Plan tilføjjet lignende Konsoller (Forøgelse af Ribbetykkelsen) i vandret Plan, hvad dog medfører en væsentlig Fordyrelse af Forskallingen, eller man har tilføjjet en Plade (ligesom i Fig. 46) langs Underkanten paa en kortere Strækning, eller man har endelig indlagt en Spiralærmering langs Konsol-Underkanten.

Ved længere kontinuerlige Broer eller Viadukter kan man blive nødt til at indlægge Expansionsfuger for at formindske Temperatur- og Svindspændinger. Afstanden mellem disse Fuger kan være 25-50 m, navnlig afhængig af Mellempillernes Højde og Stivhed. Afbrydelserne lægges i Almindelighed over Mellemlunderstøtningerne; ved murede Piller anbringes et Leje paa hver Side af Fugen, naar Understøtningerne udføres i Jærnbeton, anvendes Dobbeltsøjler (Fig. 49); undertiden kan Afbrydelsen ogsaa lægges midt i et kort Fag (småln. Fig. 44 c).

Beregningen af Hoveddragerne udføres næsten altid under Forudsætning af konstant Tværnit. Naar Dragerhøjden er konstant, spiller det ganske vist ingen væsentlig Rolle, at Armeringen varierer, men derimod kan Konsollerne eller Afrundingerne ved Mellempillerne nok have en ikke forsvindende Betydning (Understøtningsmomenterne forøges herved); man bør derfor kun se bort herfra ved foreløbige Beregninger eller ved korte Konsoller, men tage Hensyn til Tværsnitsvariationen i den endelige Beregning. Endnu mere nødvendigt er dette naturligvis, naar Dragerhøjden varierer stærkt og over hele Længden, f. Ex. hvis man for Udseendets Skyld eller paa Grund af kneben Konstruktionshøjde midt i Aabningen anvender en svag Krumning af hele Dragerens Underkant.- Naar Mellemlunderstøtninger af Jærnbeton er støbt sammen med Overbygningen, kan man i de fleste Tilfælde beregne Hoveddragerne uden at tage Hensyn til denne Sammenhæng. Sagen er nemlig, at Dragerne sædvanligvis er betydelig stivere end Søjlerne (Aage-ne), og i saa Fald har Sammenhængen ingen videre Betydning for Dragernes Paavirkning; derimod er det ganske nødvendigt at tage Hensyn til den Bøjning, som fremkommer i Søjlerne paa Grund af Sammenhængen, men dette kan i Almindelighed gøres nøjagtigt nok ved Hjælp af Tilnærmelsesformalerne i T.S. II, S. 144-45. Kun i saadanne Tilfælde, hvor man har med forholdsvist svære og korte Søjler eller Aag at gøre, maa man gennemføre hele Beregningen under Hensyn til de elastisk drejelige Understøtninger som i T.S. II, § 25, eller hvis intet Punkt af Drageren er absolut fastholdt (f. Ex. ved et fast Leje paa den ene Endepille), som for en Portaldrager (Ramme-konstruktion), T.S. II, § 53.

Mellemlunderstøtninger af Jærnbeton kan formes som en massiv Væg (ved ringe Højde), eller de kan opløses i enkelte Søjler, maaske indbyrdes forbundne paa en eller anden Maade.- Fig. 50 viser den første Konstruktion; Pillen, der staar i et Vandløb, bæres af og er støbt sammen med tre Jærnbetonpæle, lodret under Hoveddragerne; Armeringen af Væggen dannes af et Net af lodrette og vandrette Stænger i hver Side, og de to Net forbindes i en Række Punkter ved Bøjler paa tværs. Lige under Hoveddragerne an-

ordnes Armeringen gerne, ganske som om der var Tale om en enkelt Søjle. Foroven er Væggen støbt sammen med Overbygningen (her vilde man ellers altid anbringe en Tværbjælke til indbyrdes Afstivning af Hoveddragerne), og Konstruktionen er naturligvis kun stabil, fordi Pæle og Væg danner ét sammenhængende Legeme, der fastholdes baade foruden og foroven. - Til Sammenligning ses i Fig. 51 en Betonpille (eller muret Pille med Betonfundament), hvilende paa Træpæle; da disses Forbindelse med Betonen ikke kan blive stiv, er det her nødvendigt at ramme mindst to Rækker Pæle, hvorved en saadan Pilles Tykkelse bliver langt større end i Fig. 50.

Fig. 52 viser et lignende Pæleag som Fig. 50, blot af langt større Dimensioner og uden den massive Væg; Jærnbetonepælene er her først støbte sammen med en kraftig Vandlist og dernæst forlængede op som Søjler og indstøbte i Tværbjælken. Trekantforbindelserne ved begge Sider af Aaget giver en betydelig Forøgelse af Stivheden overfor Strøm og Isgang. - Endelig ses i Fig. 53 og 54 et Par Aag med almindelige Betonfundamenter paa god Grund. I Fig. 53 er Søjlerne, hvad der er meget almindeligt og praktisk ved smalle og høje Aag, stillede skraat for at faa større Stabilitet. I Fig. 54 er anvendt almindelige lodrette Søjler, der foruden ved det gennemgaaende Fundament og ved Tværbjælken foroven er forbundne ved en vandret Rigel i den halve Højde; i Fig. 53 vilde man i de fleste Tilfælde, som punkteret i Figuren, indskyde en eller to lignende Rigler til indbyrdes Afstivning af Søjlerne. Sjældnere er det derimod, at man anbringer Diagonaler i de af Søjler og vandrette Bjælker dannede Firkanter; disse kan i Almindelighed blive stærke nok ved Hjælp af de stive Hjørneforbindelser, og Diagonalerne medfører en Fordyrelse af Forskallingen og vanskelige Knudepunktskonstruktioner. Det er ikke nødvendigt som i Fig. 54 at stille en Søjle under hver Hoveddrager og ofte billigere at reducere Antallet og udnytte Tværbjælken, som alligevel ikke kan undværes.

Charnierer udføres simplest paa den i Fig. 55 antydede Maade. Søjle og Drager adskilles ved en Fuge og holdes i indbyrdes rigtig Stilling ved to Sæt Armeringsjærn, der krydser hinanden i Charnieret, undertiden ogsaa kun ved en Række lodrette Jærn (Dorne); Trykket overføres gennem en 5-10 mm tyk Blyplade, der indlægges i Fugen ($1/3 - 1/2$ af Fugebredden). - Man har dog ogsaa anvendt almindelige Tangential-Vuggelejer af Støbejærn eller Staalstøbegods, og endelig har man ogsaa ligesom ved Buebroer fremstillet Charniererne som Kvadre af armeret Beton med krumme Berøringsflader.

Beregningen af et Aag med to Søjler som i Fig. 56 udføres som for en Vierendeelbjælke (T.S. II, § 54). Under Forudsætning af fuldstændig Symmetri om den lodrette Midtlinie har man for en vandret Belastning, der giver den i Fig. 56 viste M^o -Flade, blot at bestemme Størrelserne H af følgende Sæt Clapeyron'ske Ligninger:

$$\begin{aligned} \left[1 + \frac{1}{12} \left(\frac{\Delta h_1}{h_{m,1}}\right)^2\right] H_1 + \frac{1}{6} \left(\frac{h_1}{h_{m,1}}\right)^2 \mu_1'' (H_1 - H_2) &= \frac{1}{h_{m,1}} \left(M_{m,1}^o + \frac{1}{12} \frac{\Delta h_1}{h_{m,1}} \Delta M_1^o\right), \\ -\frac{1}{6} \left(\frac{h_1}{h_{m,2}}\right)^2 \mu_1'' (H_1 - H_2) + \left[1 + \frac{1}{12} \left(\frac{\Delta h_2}{h_{m,2}}\right)^2\right] H_2 + \frac{1}{6} \left(\frac{h_2}{h_{m,2}}\right)^2 \mu_2' (H_2 - H_3) &= \\ &= \frac{1}{h_{m,2}} \left(M_{m,2}^o + \frac{1}{12} \frac{\Delta h_2}{h_{m,2}} \Delta M_2^o\right), \end{aligned}$$

$$-\frac{1}{6} \left(\frac{h_{n-1}}{h_{m,n}}\right)^2 \mu_{n-1}'' (H_{n-1} - H_n) + \left[1 + \frac{1}{12} \left(\frac{\Delta h_n}{h_{m,n}}\right)^2\right] H_n = \frac{1}{h_{m,n}} \left(M_{m,n}^o + \frac{1}{12} \frac{\Delta h_n}{h_{m,n}} \Delta M_n^o\right),$$

hvor i der er anvendt de i Fig. 56 angivne Betegnelser og desuden følgende:

$$\begin{aligned} M_{m,1}^o &= \frac{1}{2} (M_o^o + M_1^o), & M_{m,2}^o &= \frac{1}{2} (M_1^o + M_2^o), & \dots & \dots & \dots \\ h_{m,1} &= \frac{1}{2} (h_o + h_1), & h_{m,2} &= \frac{1}{2} (h_1 + h_2), & \dots & \dots & \dots \\ \Delta M_1^o &= M_1^o - M_o^o, & \Delta M_2^o &= M_2^o - M_1^o, & \dots & \dots & \dots \\ \Delta h_1 &= h_1 - h_o, & \Delta h_2 &= h_2 - h_1, & \dots & \dots & \dots \end{aligned}$$

$I_1^s, I_2^s, \dots$ Inertimomenter af Søjlerne i Fagene 1, 2, $\dots$,
 $I_1^h, I_2^h, \dots$ Inertimomenter af Riglerne Nr. 1, 2, $\dots$,

$$\mu_1' = \frac{h_1}{s_1} \frac{I_1^s}{I_1^h}, \quad \mu_1'' = \frac{h_1}{s_2} \frac{I_2^s}{I_1^h}, \dots;$$

Momenterne M^0 skal alle indføres som negative.

Efter Beregning af Størrelserne H finder man følgende Paavirkninger i Søjler og Rigler: for Søjlerne i rte Fag:

Moment lige over $(r - 1)$ te Rigel: $\mp \frac{1}{2} M_{r-1}^0 \pm \frac{1}{2} h_{r-1} H_r$,
 " " under rte " : $\mp \frac{1}{2} M_r^0 \pm \frac{1}{2} h_r H_r$,

Normalkraft: $\pm \frac{1}{2} Q_r^0 \sin \alpha \mp H_r \cos \alpha$,

Transversalkraft: $\pm \frac{1}{2} Q_r^0 \cos \alpha \pm H_r \sin \alpha$;

for rte Rigel:

Moment ved venstre Ende: $\pm \frac{1}{2} h_r (H_r - H_{r+1})$,
 højre

Normalkraft = $-\frac{1}{2} \times$ Knudepunktsbelastningen,

Transversalkraft = $H_r - H_{r+1}$.

Med lodrette Søjler bliver alle Størrelserne h lige store og Størrelserne $\Delta h = 0$.

§ 7. Stilladser. Selve Forskallingen fremstilles af 3 - 7 cm Brædder eller Planker (i Almindelighed 4-6 cm) ganske som ved Husbygningskonstruktioner, saa her skal kun siges et Par Ord om de til Understøtning for Forskallingen nødvendige Stilladser. Disse er i Virkeligheden kun en speciel Slags Interims-Træbroer og konstrueres derfor i mange Henseender efter de samme Regler, som anvendes ved andre Træbroer. Af særlige Hensyn, der kan være at tage, skal dog straks nævnes et Par. For det første bør man tænke paa en gentagen Anvendelse af Tømmeret og derfor beskadige det saa lidt som muligt, altsaa ikke skære mere ud ved Forbindelserne end strengt nødvendigt, om muligt undgaa Indtapninger og i Stedet sikre Forbindelserne ved Spidsklammer. Og dernæst spiller Stivheden en betydelig større Rolle end ved en almindelig Færdselsbro; Nedbøjningerne giver dels en forkert Form af Jærnbetonkonstruktionen, og dels skal Stilladset være passende upaavirkeligt af Rystelserne (navnlig, hvis der stemples). Baaede af denne sidste Grund og tillige fordi det i Reglen er det billigste, anvender man sædvanligvis mange Mellemanderstøtninger (hyppigst 1 2-3 m Afstand), dannede af rammede Pæle, eller hvis Grunden nendenunder er fast, blot af Stolper, staaende paa en paa Jorden hvilende Svelle som Fodstykke. Kun hvor der direkte, f. Ex. af Hensyn til Sejlads paa et Vandløb, Gennemkørsel paa et Jærnbanespor e. lign., forlanges et vist frit Profil nendenunder, gaar man til større Afstand mellem Understøtningerne og benytter da næsten altid en Sprængeværkskonstruktion, undertiden dog ogsaa valsedede Jærnbjælker. Disse sidst omtalte Konstruktioner med noget større Aabninger, navnlig overdækkede med Sprængeværker, kaldes ofte fritbærende, i Modsetning til faste Stilladser, hvis mange Mellemanderstøtninger spærrer hele Rummet nendenunder. - Endvidere bør det være muligt at fjerne Stillads og Forskallinger uden for stærke Rystelser. Hvor Understøtningerne dannes af løse Stolper, indskydes derfor et Sæt dobbelte Kiler mellem Stolper og Fodstykke; Kilerne gøres af Eg, og man opnaar herved tillige at faa Stolpernes Tryk fordelt over en større Flade paa Fodstykket. Har man rammede Pæle, maa lignende Kiler indskydes et andet Sted (højere oppe) i Konstruktionen. - Endelig maa man ligesom ved enhver Trækonstruktion have sin Opmærksomhed henvendt paa, at der intet Sted kommer til at virke for stort et Tryk paa Siderne (som lige berørt for Fodstykkernes Vedkommende), da dette giver Anledning til uheldig Sætning af Konstruktionen. Mere end 20 kg/cm² for Fyr eller Gran og 30 kg/cm² for Eg bør ikke tillades. Man kan formindske Trykket ved Indskydelse af Klodser af Eg eller andet haardt Træ, men forøvrigt

spiller dette Spørgsmaal naturligvis en mindre Rolle ved de smaa Konstruktioner her end ved Stilladserne for Buebroer.

Et fast Stillads bestaar herefter i Hovedsagen af en Række Aag tværs paa Broen, i 2-3 m Afstand, og herover Bjælker paa langs, som mere eller mindre direkte bærer Forskallingen. Aagene indeholder gerne en Pæl eller Stolpe for hver Hoveddrager i Broen (Fig. 57); med Brobanen forneden og en svær Hoveddrager langs hver Side sædvanligvis to Pæle eller Stolper for hver Drager (Fig. 58). Stolperne sættes som sagt paa et nedgravet eller understøttet Fodstykke, bedre paa smaa murede eller Beton-Fundamenter; ved rammede Pæle og større Højde bygger man ofte Aagene i to Etager, en Underdel bestaaende af Pælene, hvis Hammer fungerer som Fodstykke for Stolperne i Overdelen (Fig. 57). Stolper og Pæle afstives mod hinanden ved Plankekryds, der boltes paa Siden af dem. Foroven afsluttes Aagene med en Hammer eller Tvingere, og herover en Længdebjælke for hver Hoveddrager; i Fig. 57 er Kilerne indskudte mellem Hammer og Længdebjælke, men ofte lægges der over Kilerne først et Stykke Tømmer paatværs. Over Længdebjælkerne er i Fig. 57 lagt en Række spinklere Tværbjælker, hvorpaa endelig Formkasserne for Broens Hoveddragere staar.

Naturligvis kan Konstruktionen varieres paa mange Maader, ved at lægge Hammer eller Tvingere paa langs (som i Fig. 58), ved at tilføje Afstivningskryds paa langs, o.s.v.. I Fig. 58 ses tillige, hvorledes man har afbrudt Tvingerne og understøttet Enderne ved Skraastivere for at skaffe Højde for det frie Profil over Jærnbanesporet til venstre. Ved saadanne Broer over Jærnbanespor kniber det ofte stærkt med Konstruktionshøjden; man har derfor undertiden stillet Pælene eller Stolperne i Mellemrummene mellem Broens Hoveddragere, forsynet dem med en Hammer eller Tvingere paa langs og herunder ved Bolte ophængt spinkle Tværbjælker til Understøtning for Bunden i Formkasserne eller endog udeladt Tværbjælkerne og ophængt Formkasserne alene.

Til Pæle og Stolper anvendes ofte Rundtømmer, til Afstivninger mellem Aagene, spinklere Skraastivere i mindre Sprængeværker o.l. i Almindelighed Planker. Stilladserne tegnes i Reglen op efter Øjemaal, og Beregningen indskrænkes til en Eftervisning af tilstrækkelig Sikkerhed for de vigtigste og farligst paavirkede Led.- Af Hensyn til Transport paa Stilladserne, Stampning o.s.v. regnes Belastningen gerne til 1½ Gange Jærnbetonens Vægt foruden Stilladsets Egenvægt.

II. Buebroer.

§ 8. Oversigt over Broformerne; en Aabning. En Buebro af Jærnbeton kan bygges saaledes, at den baade i ydre Fremtræden og i alle Detailler kommer til at ligne enten en hvælvet Stenbro eller en Jærnbuebro, og desuden kan der optræde alle mulige Mellemløbsformer herimellem. Idet vi her ikke skal opholde os ved saadanne Bygninger som Gennemløb (Rørledninger, Kloakprofiler) eller Gennemkørsler og Tunneler, er det Brobanens Beliggenhed i Forhold til Hoveddragerne, der har størst Betydning baade for Broens Udseende og for Konstruktionen i det enkelte.

1. Brobanen foroven. Som Mellemlid mellem den bærende Konstruktion og Brodækket kan man her have:

1. Jordfyld, hvilende paa en gennemgaaende Hvælving og begrænset af Frontmure langs Siderne (Fig. 59);
2. Sparebuer med (mindre) Jordfyld over, førte igennem Frontmurene (Fig. 60), saa de viser sig i Facaden, eller kun imellem Indersiderne af Frontmurene; Sparebuerne lægges i Almindelighed paa tværs af Broen, men kan ogsaa anbringes paa langs, hvilende paa Mellem-Mure, parallelle med Frontmurene; saadanne Sparebuer anvendes dog hyppigere ved murede eller Beton-Hvælvinger end ved egentlige Jærnbetonbuer;
3. en Bjælke-Brobane (Fig. 61), bestaaende af Tvær- og Længdebjælker af T-Tværsnit, hvor Pladen danner Bæredækket, og hvis Tryk gennem Tvær- eller Længde-Vægge eller gennem Søjler overføres til Buen.

Selve Buen kan dernæst have højst forskellige Tværsnitsformer, nemlig alle de i Fig. 62 a-e fremstillede, altsaa:

- a. en gennemgaaende Hvalving, ganske som ved Stenbroer, anvendelig i alle Tilfældene 1-3 ovenfor.
- b. Hvalvingen delt i to Halvdele med et Mellemrum imellem, sammen med en af Ordningerne 2 eller 3 ovenfor; Konstruktionen er navnlig anvendt ved en Del nyere, større Stenbroer, sjældnere, men dog ogsaa, ved Jærnbetonbroer, men her vil man i Almindelighed foretrække at gaa et Skridt videre, til Enkeltbuerne i Fig. 62 e;
- c. Ribbeplade-Tværsnit med Pladen foroven eller forneden, anvendelig sammen med alle Ordningerne 1-3 ovenfor, men desuden ved flade Buer paa den Maade, at Ribberne naar helt op til Brobanen og direkte bærer denne; naar Pladen ligger foroven, danner den selv Bæredækket, med Pladen forneden maa Mellemrummene mellem Ribberne foroven overdækkes med Buer eller et Plade-Brodæk (denne Konstruktion særlig anvendt af Hennebique): i sidste Tilfælde kan Brobanen ogsaa regnes med til Hvalv-Tværsnittet, der saaledes bliver kasse- eller celle-formet;
- d. Ribbeplade-Tværsnit med Pladen i variabel Højde, nemlig saaledes at den stadig kan udnyttes som Trykflange (Fig. 62 d); ved en indspændt Bue maa Pladen da i Toppen lægges foroven og hen mod Vederlagene føres ned til Underkanten; Konstruktionen er theoretisk set ganske tiltalende, men dog kun sjælden anvendt, bl.a. fordi Bue-Midtlinien, som skal indeholde Tværsnits-Tyngdepunkterne, ikke kan lægges fast, førend Trykflangens Beliggenhed er bekendt, og fordi en Del (eller maaske det meste) af Fordelen gaar tabt igen paa Grund af den sandsynligvis meget uøkonomiske Form, som Bue-Midtlinien faar, naar Underkanten skal have et jævnt krummet Forløb; samme Indvendig kan gøres mod de ovenfor nævnte kasseformede Tværsnit;
- e. Enkelt-Buer med rektangulært Tværsnit, sammen med en Bjælke-Brobane hvilende paa Støtler, altsaa ganske som ved en Jærnbue; den bærende Hovedkonstruktion maa i saa Fald udformes som et korrekt rumligt System, med Vinddragere og Tværafstivninger, i Almindelighed som Rammekonstruktioner (uden Diagonaler); Enkelt-Buer egner sig først ved lidt større Spændvidde og Pilhøjde; ved mindre Broer giver de i Almindelighed et for klodset Udseende, og den dyrere Forskalling opvejes her ikke tilstrækkeligt ved Besparelser paa Beton og Jærn.

II. Brobanen forneden. Der kan her kun være Tale om en Bjælke-brobane, hvis Tværbjælker gennem Hængestænger er ophængte til Buerne (Fig. 63), og om Enkeltbuer (med rektangulært Tværsnit) som Hoveddragere, én langs hver Side af Broen. For at reducere Tværbjælke-Dimensionerne lægges Hoveddragere ved Væjbroer altid, hvis det er muligt, mellem Kørebane og Trottoirer, og disse sidste bæres altsaa af Konsoller, der dannes af de forlængede Tværbjælker. Ved meget brede Broer kan man naturligvis dog ogsaa lægge en lignende Hoveddrager midt i Kørebane og altsaa anvende tre Dragere. Derimod kan Hoveddragernes Virkemaade være forskellig, nemlig uden eller med Trækstang; hvis en Trækstang skal anvendes, indstøbes den i Kantningsdrageren for Brobanen. Selve Trækstangen dannes enten af Rund-Jærn eller ofte af Flad- eller Profiljærn med nittede Stød, hvorom nærmere nedenfor, og den maa forankres overordentlig paalideligt i Bue-Enderne. Buen med Trækstang virker statisk som en Bjælkedrager og maa derfor understøttes i Overensstemmelse hermed. Naar Horizontaltrykket skal optages af Pillerne, maa der lægges en Afbrydelse et eller andet Sted i Brobanen, for at denne ikke skal komme til at fungere som Trækstang og derved blive overanstrengt og slaa Revner.

Den bærende Hovedkonstruktion maa udformes som et korrekt rumligt System, enten som "aaften Bro", hvor Tværbjælker og Hængestænger danner stive Halvrammer til Understøtning for Buerne, eller som "lukket Bro", med en (sædvanlig som Vierendeelbjælke formet) øvre Vinddrager paa det midterste Stykke, hvor Højden tillader dette. Den stive Brobane fungerer i begge Tilfælde som en nedre Vinddrager.

De op over Brobanen ragende Enkeltbuer faar ofte meget svære Dimensioner og derfor et klodset Udseende. I enkelte Tilfælde, hvor man vilde anvende Trækstang, har man derfor, som antydtes i Fig. 64, forøget Dimensionerne af den armerede Bjælke, hvori Trækstangen indstøbes, saa meget, at dens Stivhed ikke mere bliver forsvindende i Sammenligning med Buernes (eller bliver omtrent den samme som Buernes), hvorved Drageren kommer til at fungere som en Vierendeelbjælke med Hoved og Fod løbende sammen i en

Spids (Vertikalerne bliver da kun svagt paavirkede). De bøjende Momenter, som Buerne får var alene om at optage, fordeler sig da paa Hoved og Fod tilnærmelsesvis i Forhold til Stivheden.

III. Brobanen dels ovenover, dels ophængt under Buerne. (Fig. 65). Ligesom under II er der her kun Tale om Enkeltbuer langs Kanten af Brobanen eller mellem Kørebanen og Trottoir, og i det hele følger alle Enkeltheder ved denne Konstruktion af det ovenfor meddelte.

Angaaende Buerne skal endnu i al Almindelighed tilføjes, at de kan konstrueres uden eller med Charnierer og, som allerede ovenfor berørt, uden eller med Trækstang. Ved To- eller Tre- Charniers-Buer er det ofte meget praktisk, og kan i Jærnbeton let realiseres, at bruge fremskudte Vederlags-Charnierer. For at sikre den korrekte Funktionering og for at undgå Revner er det ganske nødvendigt at lægge en Afbrydelse i Brobanen i Plan med Charnieret i Buen og ligelædes f. Ex. i Fig. 61 at holde Brobanen adskilt fra Pillerne.

Ved Anvendelse af Charnierer opnaas større eller fuldstændig statisk Bestemthed og dermed Formindskelse eller Elimination af Extraspændinger fra Pille-Forskydninger og Temperaturvariationer. Til Gengæld faar man Bekostningen ved baade Charniererne og Afbrydelserne i Brobanen (hvad intet væsentligt betyder for store, men kan spille en afgørende Rolle for smaa Broer), og man maa give Afkald paa den simplere og naturligere Løsning, at fremstille hele Konstruktionen i ét. Resultatet heraf er, at man i mindre Broer kun anvender Charnierer, hvor en Buebro foretrakkes (f. Ex. af Hensyn til Udseendet) til Trods for Grundens mindre gode Beskaffenhed, saaledes at det bliver for dyrt eller umuligt at fremstille helt paalidelige Vederlag, eller hvor der er Tale om saa flade Buer, at Temperaturspændingerne vilde faa for stor Betydning. I større Broer ser man i det hele hyppigere Charnierer anvendt, men ligeledes her fortrinsvis ved mindre god Byggegrund og ved flade Buer. Ved Buer med stor Pillehøjde er der i Almindelighed ingen Anledning til at indskyde Charnierer, det skulde da være, at der kan opnaas en væsentlig økonomisk Fordel ved at flytte Vederlags-Charniererne et Stykke ud i Aabningen (men i saa Fald stilles der ligesom ved den indspændte Bue ret store Fordringer til Vederlagenes Soliditet).

Endelig bemærkes om Pillerne, at de ligesom ved Bjælkebroer kan bygges massivt eller udføres i Jærnbeton og da opløses i Ribber og Plader med Udnyttelse af Jordfyldens Vægt til at skaffe Stabilitet. Men desuden kan man ligesom ved Stenbroer lade Vederlaget danne en umiddelbar Fortsættelse af Buen (se Fig. 60, 63, 65), saaledes at det ikke er muligt at sige, hvor Buen hører op og Pillerne begynder. Naar der er Tale om Enkeltbuer, som i Fig. 63 og 65, lader man i Almindelighed Vederlaget brede sig ud ikke blot i Buens Plan, men ogsaa i Retningen vinkelret herpaa, og navnlig saaledes at der dannes et sammenhængende Fundament for de to Buers Vederlag. - Fløjene kan konstrueres ganske som ved Bjælkebroer, blot er Anvendelsen af Parallelfloje maaske her noget almindeligere, da de bedst egner sig til at forøge Stabiliteten overfor Buens Horizontaltryk, særlig naar man kun har én Enkeltbue i Flugt med hver Fløj. Endvidere kan man her, ligesom ved Bjælkebroer, hvor Piller og Dragere er støbte i ét, anvende frit udkragede Fløje, uden særligt Fundament.

§ 9. Brobanen og dens Understøtning paa Buerne.

1) Ved Anvendelse af Jordfyld mellem Frontmure maa Hvælvingens Overside beskyttes mod Fugtighed ved et Isoleringslag, ganske som i § 2 (under "Broakket") beskrevet, og der maa sørges for Vandafledning ved Enderne af Broen. Over Toppen bør man holde en ikke for kneben Tykkelse af Fylden, f. Ex. 25-30 cm ved Vejbroer og helst noget mere ved Jærnbanebroer, (i alt Fald ikke under 25 cm Ballast under Svellerne), og naar Tykkelsen er lille, maa der anvendes god Fyld (skarpt Grus e.l.).

- Frontmurene kan udføres af Murværk, Stampebeton eller Jærnbeton, ved Jærnbetonbroer hyppigst det sidste, med mindre der af arkitektoniske Grunde ønskes et andet Materiale. Murene dimensioneres som Beklædningsmure, med heldende Bagside og altsaa voksende Tykkelse, efterhaanden som Højden vokser hen mod Vederlagene. Ved Anvendelse af Jærnbeton (Fig. 66) indstøbes Armeringen i Hvælvingen, eller hvis Frontmuren støbes senere, lader man et til dens Armeringsjærn svarende Antal Jærnstænger stikke saa langt op over Hvælvingen, at der kan fremstilles et forsvarligt Stød.

Ved større Højde kan man tilføje Ribber paa Bagsiden (Fig. 66 b) og armere Pladen vandret, ved endnu større Højde kan der være Tale om at forankre de to Frontmure mod hinanden ved Jærnbeton-Trækstænger (Bjælker) eller gennemgaaende lodrette Vægge; men naar noget saadant bliver nødvendigt, er man forøvrigt nær ved den Grænse, udover hvilken det ikke kan betale sig at fylde op ovenpaa Hvelvingen, saa man hellere maa gaa over til en af de følgende Ordninger. Bagsiden af Frontmurene asfalteres, maaske føres ogsaa Isoleringslaget paa Hvelv ngens Overside et Stykke eller helt op. I Forbindelse med en Jærnbeton-Frontmur kan man støbe et Rækværk af Jærnbeton, som en Væg med Gennembrydninger. Fra Frontmuren, navnlig naar den har Ribber paa Bagsiden, kan man ogsaa udkræge et ikke for bredt Trottoir (Fig. 67). Jordtrykket paa Frontmurene frembringer dels Træk tværs paa Hvelvingen, dels Bøjningsspændinger i Snit i Hvelvingen parallele med Frontmurene. Hertil bør der tages Hensyn ved Indlæggelse af en Armering paa tværs langs Hvelvingens Overside.

Over Charnierer i Hvelvingen og ligesaa ved Tilslutningen til Pilerne maa Frontmurene afbrydes; Fig. 68 viser i vandret Snit, hvorledes en saadan Afbrydelse kan skjules bag et Mur-Fremspring. I ikke armerede Beton-Frontmure lægger man bedst lignende Fuger i 15-20 m Afstand for at undgå Svindrevner, i armerede Mure er dette ikke saa nødvendigt, naar der indlægges en ikke for kneben Længde-Armering.

2) Ved større Broer, og navnlig større Pilhøjde, formindsker man Egenvægten ved i Stedet for Jordfyld i hele Højden at indskyde Sparebuer (Fig. 60) eller med Plader overdækkede Hulrum over Hvelvingen; herover, ligesom over Hvelvingen selv i Nærheden af Toppen, kommer saa et tyndere Lag Fyld. Sparebuer tværs paa Broens Længderetning faar gerne en Spændvidde paa 2-5 m, og baade Væggene imellem dem (der ogsaa kan gennembrydes, opløses i en Række Søjler) og Buerne udføres her i Almindelighed af Jærnbeton. For Vandafledningens Skyld maa der endnu sørges for Afløb fra alle Fordybninger mellem de enkelte Buer, eller ved et Lag Udfylningsbeton skaffes Fald hen over hele Bue-Rækken. Oversiden dækkes med et Isoleringslag ligesom ovenfor. Hvis Frontmurene skal præsentere sig ugennebrudte, kan man ogsaa fremstille de Ønskede Hulrum ved Længdeskillevægge parallele med Frontmurene og Overdækning herimellem med Plader eller Hvelvinger.

3) En Bjælke-Brobane konstrueres helt af Jærnbeton og i de fleste Henseender ganske som ved en Bjælkebro, i alt Fald blot med de mindre Forskeligheder, som hidrører fra Understøtningsmaaden. Naar man har en gennemgaaende Hvelving og Brobanen ligger foroven, kan den, som omtalt i Forrige Paragraf, understøttes paa en Række Tværvægge (maaske gennembrudte) eller paa Søjler. I første Tilfælde gør Væggene det ud for Tværbjælker, og Brobanebjælkerne er alene Længdedragere (og maaske sekundære Tværbjælker); i sidste Tilfælde (Fig. 69) bør der stilles en Søjle under hver Længdedrager (for at man ikke skal faa altfor store koncentrerede Tryk paa Hvelvingen), og de Tværbjælker, man dog sædvanligvis vil anbringe foroven mellem Søjlerne, tjener blot til Afstivning og maaske som sekundære Tværbjælker. Forneden, hvor Søjlerne støtter paa Hvelvingen, tilføjer man ofte en Forstærkning (enten blot i Armeringen eller tillige ved Hjørneudfyldningen, navnlig i Tværretningen), som vist i Fig. 70, undertiden ogsaa en gennemgaaende Tværbjælke (med Gennembrydning for Vandafledningen).

Ved Enkeltbuer under Brobanen stilles (i Tværnit) en Søjle over hver Bue (Fig. 71), og over Søjlerne lægges enten alene en Række sekundære Længdedragere (med Afstivnings-Tværbjælker ved Søjlerne), eller hvis Afstanden mellem disse bliver for stor, Hoved-Tværbjælker med sekundære Længdedragere imellem.

Naar Buerne ligger over Brobanen, ophænges i Almindelighed en Række Hoved-Tværbjælker til Hængestængerne, og herimellem indskydes de nødvendige sekundære Længdedragere (Fig. 72-73). Undertiden er det dog ogsaa en gennemgaaende Hoved-Længdedrager, der ophænges til Buerne, og herimellem Tværbjælker til Understøtning for Bæredækket. Hængestængerne kan gøres af Jærn eller Jærnbeton. I Fig. 72 er brugt Rundjærn (med store Ankerplader og Møttrikker), hvad dog i de fleste Tilfælde giver et uheldigt Udseende, idet Stængerne bliver altfor spinkle i Forhold til den øvrige Konstruktion og i nogen Afstand ganske usynlige; i Stedet herfor kan ogsaa bruges det ved Jærnbroer almindelige Hængestangs-Profil, 4 Vinkeljærn i I-I-Form. Det almindeligste er dog en Jærnbeton-Søjle, og denne Konstruktion er i alt Fald den eneste brugelige, hvis Hængestængerne som Led i Halv- eller Hel-Rammer skal medvirke til Sideafstivning af Buerne. Ved Armeringen maa der foruden til Trækket tages Hensyn baade til den Bøjning

der hidrører fra Belastning paa Brobanen, og til den, der ved Afbrydelser i Brobanen kan fremkomme paa Grund af forskellig Udvidelse eller Sammentrykning af Buer og Brobane. Hængestængernes Forbindelse med Tværbjælken (Brobanen) maa udføres meget omhyggeligt, med Anvendelse af runde Hager, Dorne, eventuelt Ankerplader og Møttrikker o.s.v.

§ 10. Hoveddragerne. 1. Bueformen spiller her ligesom ved Stenbroer en betydelig større Rolle end ved Jærnbuer, paa Grund af Konstruktionens større Egenvægt. Størst Betydning har Formen, hvor der anvendes Jordfyld over Hvælvingen, mindst ved en Bjælke-Brobane, enten denne er anbragt over eller under Buerne. I sidste Tilfælde er Egenvægten ret nær ensformigt fordelt, og den gunstigste Bueform nærmer sig da stærkt til Parablen, der ogsaa næsten altid anvendes, navnlig ved flade Buer; ved indspændte Buer med stor Pilhøjde vokser selve Buens Egenvægt (pr. m. af Horizontalprojektion) dog saa stærkt hen mod Vederlagene, at det absolut betaler sig at tage Hensyn dertil ved Form-Bestemmelsen.- Ganske i Almindelighed finder man den gunstigste Bueform som Tryklinie til Belastningen $g + \frac{1}{2} p$ (hvileende + halv bevægelig Belastning, virkende som Totalbelastning), se T.S.II, § 32 og § 45. p betyder her en ækvivalent ensformig Belastning, der tilnærmelsesvis kan bestemmes som for en simpel Bjælke med Længde lig 0,4 af Buens Spandvidde. Ved foreløbige Beregninger kan man nøjagtigt nok betragte "Normalbelastningen" $g + \frac{1}{2} p$ som varierende efter en Parabel, og i T.S.II er da angivet Ligningen for den gunstigste Midtlinie og Midler til en foreløbig Bestemmelse af Dimensionerne. Ved den endelige Beregning inddeler man Buen i en Række (ikke for faa) lige store Fag, beregner den hvileende Belastning ($+ \frac{1}{2} p$) saa nøje som muligt for hvert Fag og finder saa Ordinaterne til Buens Midtlinie ved en Momentberegning.

For en Tre-Charniers-Bue opnaar man ved en saadan Formbestemmelse virkelig, at Momenterne fra Normalbelastningen bliver Nul; for en statisk ubestemt Bue bliver man derimod ikke fri for de Momenter, der hidrører fra Forkortelsen af de enkelte Bue-Elementer, og disse Momenter er i mange Tilfælde ingenlunde forsvindende, saa de bør ubetinget medtages allerede i de foreløbige Beregninger.

For Tre-Charniers-Buer med fremskudte Vederlags-Charnierer findes i T.S. II, S. 206, angivet den Plads for disse Charnierer, der fører til samme Maksimumsmoment ved Indspændingen som i det farligste Punkt mellem Charniererne.

Hvis man i et eller andet Tilfælde af Hensyn til Udseendet foretrækker en anden Form (elliptisk el. lign.) og stiller det økonomiske i 2den Række, er dette langt lettere gennemførligt med Jærnbeton som Materiale end med uarmeret Beton eller Murværk.

2. Buernes Konstruktion. De forskellige anvendte Tværsnitsformer er opregnede i § 8; de der omtalte Ribbe-Tværsnit benyttes med Forkejlighed af enkelte Konstruktorer for at faa Armeringen til at virke paa en større Vægtstangsarm og derved faa den bedre udnyttet til Optagelse af Trækspændingerne. Hvis man imidlertid former Buerne efter den gunstigste Tryklinie, kommer Trækspændingerne overhovedet ikke til at spille nogen videre Rolle, undtagen maaske ved meget lette Konstruktioner, saa nogen rationel Aarsag til at foretrække Ribbe-Tværnittene foreligger i Almindelighed kun ved Bueformer, der afviger fra den nævnte gunstigste. Vi kan derfor her indskrænke os til de almindelige rektangulære Tværnsnit, enten som en gennemgaaende Hvælving eller som Enkelbuer.

Tværnsnitsvariationen udføres i Almindelighed alene ved at variere paa Tykkelsen; for Tre-Charniers-Buer faas største Tykkelse omtrent i Fjerdedelspunktet, og herfra kan man lade Buen spidse lidt til hen mod Charniererne, stærkest hen mod Toppen; for indspændte Buer lader man gerne Tykkelsen vokse jævnt fra Toppen hen mod Vederlagene, enten saaledes at den lodrette Projektion af Tykkelsen holdes konstant, eller saaledes at Tykkelsen eller Inertimomentet vokser efter en parabolisk Lov (se T.S. II, S. 284). Undertiden har man dog ogsaa ved indspændte Buer ladet Bredden vokse hen mod Vederlaget, og dette kan ved stor Pilhøjde og Spandvidde være meget praktisk af Hensyn til Vindtrykket (sm. lign. ogsaa næste §).

Armeringen har naturligvis først og fremmest til Opgave at optage Trækspændingerne, men som lige nævnt optræder saadanne kun i ringe Grad, naar Buerne er rigtigt formede; i mange Tilfælde viser det sig, at der regningsmæssigt slet ikke kan fremkomme Trækspændinger, og der er da i og

for sig intet i Vejen for at udelade Armeringen. Nu til Dags foretrækker man imidlertid sædvanligvis at anbringe en Armering alligevel, og det, man opnaar herved, er dels en større Sikkerhed baade mod Revner paa enkelte Punkter og for Konstruktionen som Hele, dels en Formindskelse af Beton-dimensionerne og derved en noget lettere Konstruktion.

Armeringen kan udføres paa to væsentlig forskellige Maader, af slappe eller stive Profiler; det sidste foretrækkes principielt af enkelte Konstruktorer, men Anvendelsen af slappe Profiler (her i Europa saa godt som alene Rundjærn) maa siges at være det almindeligste.

Slappe Profiler. Man har tidligere ofte nøjedes med en enkelt Armering (i den ene Side), som naturligvis kan føres fra den ene Side til den anden, eftersom Momentets For tegn kræver det. Nu anvender man dog næsten altid en dobbelt Armering, bestaaende af et Lag Rundjærn i 8-25 cm indbyrdes Afstand tæt langs Over- og Undersiden. Tidligere har man sammenbundet Armeringsstængerne til et Net ved Hjælp af spinkle Fordelingsstænger paa tværs og indlagt hvert Net for sig i Betonen under Støbningen; nu foretrækker man, ligesom ved Bjælker, at samle og opstille hele Armeringen paa Forhaand, saaledes at den danner et stift Skelet, hvori den rigtige Afstand mellem alle de enkelte Jærn er sikret paa en saadan Maade, at de ikke bringes ud af Stilling under Støbningen.

Dette kan opnaas alene ved Anvendelse af Bøjler, der sikrer Afstanden mellem de to Net af Hovedarmeringsjærn, og Fordelingsstænger, der holder Jærnene i hvert Net for sig i den rigtige indbyrdes Afstand. Bøjlerne (i Almindelighed 7-10 mm) kan omslutte et eller to af Hoved-Armeringsjærnene i hvert Net (Fig. 74) og anbringes gerne i 20-50 cm Afstand, i alt Fald ikke i større Afstand end Hvæltykkelsen. Fordelingsjærnene faar lignende (eller noget sværere) Dimensioner som Bøjlerne og lægges bedst indenfor Hovedarmeringen, for hvert eller hvert andet Sæt Bøjler; det hele bindes endelig sammen i tilstrækkelig mange Punkter. Dimensionerne af Bøjler og Fordelingsjærn bestemmes skønsmæssigt, i Forhold til Hovedarmeringsjærnene og til Hvæltykkelsen, saaledes at man faar tilstrækkelig Stivhed af Jærnskelettet; desuden skal Bøjlerne paa de Strækninger, hvor man har Tryk, sikre Hoved-Armeringsjærnene mod Udbøjning (Bøjleafstand 15 x disses Diameter efter de danske Normer), og endelig skal de optage Forskydningsspændingerne, hvis Betonen alene ikke er i Stand hertil. I Almindelighed spiller Forskydningssvændingerne i en Hvælving saa lille en Rolle, at dette Hensyn ingen Betydning faar for Bøjle-dimensionerne, men man gør dog rettest i at bestemme største Tangentialkraft for et Par enkelte Tværsnit.

Foruden Bøjler og Fordelingsjærn anvender man undertiden saakaldte Afstandsjærn af den i Fig. 74 a (Pl. 7) viste Form og af noget sværere Dimensioner end Bøjlerne (12-16 mm). De indlægges to og to sammen, med de lodrette Grene sammenfaldende, men med Bugterne vendende op og ned, i noget større Afstande efter Hovedarmeringsjærnenes Dimensioner (ca. 2 m); naar Hovedjærnene bindes hertil, opnaar man en meget virksom Sikring af disses Beliggenhed. - Endelig har man undertiden fremstillet Jærnindlægget som færdige "Elementer", der formes og sammenbindes i Forvejen og først i denne Tilstand indlægges paa Forskallingen (nærmere herom i "Ing." 1913, Nr. 94 og 1917, Nr. 58).

Stødene i Armeringsjærnene forsettes bedst noget for hinanden og lægges helst paa Steder, hvor der ikke kan optræde store Trækspændinger.

Stive Profiler anvendes som sagt særligt af enkelte Firmaer eller Konstruktorer (størst Udbredelse som System Melan). I Betonen indlægges, i 0,7 - 1,2 m Afstand, valsede I-Bjælker (op til Nr. 18-20), i indtil 25 cm Hvæltykkelse eller ved større Dimensioner nittede Gitterdragere, med Flanger af Γ , Fladjærns-Gitter (Fig. 75), saaledes at der kommer 2-4 cm Beton udenom; undertiden omvikles Flangerne med Traadvæv, for at den tynde Betonskal ikke skal springe af. Hensigten med Konstruktionen er navnlig at spare paa Stilladser, idet Jærnbuerne under Støbningen skal bære en Del (der regnes gerne $1/3 - 1/2$) af den Belastning, Stilladserne ellers alene maatte optage, og dette kan lade sig gøre, da Jærnet som Trykarmering ikke kan udnyttes fuldt. Jærnbuerne maa derfor monteres for sig som selvberende til at begynde med og forbindes ved en Række Tværafstivninger (se Fig. 75) i 5-8 m Afstand, ogsaa for at hindre Udknækning af Flangerne. Stødene i Buerne dækkes fuldt, ved Lasker og Nitning, og paa de Punkter, hvor Stilladset ophænges til dem (ved Bøjler og lign.), indsættes Vertikaler af Vinkeljærn. Undertiden suppleres den stive Arme-

ring ved Indlæggelse af nogle Rundjærn for lettere at faa det beregnede Jærntværsnit realiseret.

Specielle Armeringer. Herved tænkes ikke paa, at man f. Ex. i Amerika hyppigt erstatter Rundjærn med et andet slapt Profil (Ransome, Thacher o.s.v.), men paa de Bestræbelser, man har udfoldet for ved Hjælp af en særlig Armeringsmaade eller et særligt Armerings-Materiale at reducere Betondimensionerne. Ved Anvendelse af Enkeltbuer, og navnlig naar disse ligger over Brobanen, kommer man ved den almindelige Konstruktion let op paa meget svære og klodsede Dimensioner.

- Uden at gaa nærmere ind paa Enkeltheder skal her blot nævnes først en Bevikling, som oprindelig er angivet af Considère, og undertiden er anvendt i Hvelvinger paa den Maade, at der foruden Længdejærnene er indlagt Rundjærns-Spiraler. Og dernæst den af v. Emperger angivne (og patenterede) Støbejærns-Armering i Forbindelse med en Bevikling; ved denne Kombination synes den væsentligste Ulempe ved Anvendelse af Støbejærn i bærende Konstruktioner, nemlig dets Skørhed, at være overvunden og saaledes Udnyttelsen af Støbejærnets store Trykstyrke muliggjort. Sagen kan vel endnu neppe siges at være kommen helt ud over Forsøgsstadiet, men der er dog allerede bygget adskillige Broer efter dette System, og efter alt at dømme med godt Resultat, (i "Deutsche Banz." 1920, Zementbeilage Nr. 2, meddeles en Del Detaillier angaaende Armeringen, Steintorbrücke i Halle a.S.).

3. Charnierer er i Sten- og Jærnbetonbroer fremstillede af Blyplade-Indlæg, Kvadere af naturlige Sten, Beton eller Jærnbeton, som rigtige Vuggelejer af Jærn (Staal) eller endelig som Fjeder-Charnierer.

a. Blyplade-Charnierer kan anvendes for mindre Broer (op til ca. 20 m og mere). En 10-20 mm tyk Plade af Bly (bedst med 5 % Antimon-Tilsætning) indlægges i Fugen som en Strimmel, hvis Bredde højst er 1/3 af Fugebredden, nu til Dags sædvanligvis mindre; tilladeligt Tryk for Blyet ca. 120 kg/cm². Blypladens Tykkelse angives at kunne gøres 1/8 - 1/12 af Pladebredden, og denne 1/3 - 1/6 af Hvelvtykkelsen. Pladetykkelsen skal ikke gøres for lille af Hensyn til den blivende Drejning, der foregaar i Fugen ved Fjernelse af Stilladset. Naar dette er sket, udstøber man ofte Fugen helt med Cementmørtel, og Charnieret skal i saa Fald kun regnes virksomt overfor den hvilende, men ikke overfor den tilfældige Belastning. En aaben Fuge udfyldes sædvanligvis med imprægnerede Korkplader eller lign., ofte tilføjes de i Fig. 76 viste skraa Armeringsstænger (f. Ex. for hver 20-30 cm), der krydser hinanden i Charnieret, for at sikre Opdagelsen af Forskydningen i Fugen. Naturligvis faar man ved Indlæg af en saadan Blyplade kun Charniertrykkets Beliggenhed fikseret indenfor Grænser, der afhænger af Pladens Bredde, men til Gengæld er det en forholdsvis billig Foranstaltning. - For at forhindre, at Blyet presses ind i Betonens Porer lægges ofte en 1/10 mm tyk Kobber- eller Messingplade mellem Bly og Beton. Paa begge Sider af Charnierfugen maa man sørge for at anvende Beton af tilstrækkelig Styrke til at taale det koncentrerede Tryk (se T.E.S. 334, Noten; tilladeligt Tryk paa Betonen = $R_b \cdot \sqrt{\frac{A}{a}}$, hvor A er Fugens og a Blypladens Areal, R_b den ellers tilladelige Paavirkning paa Betonen). Man anvender derfor her en stærkere Betonblanding (1:3, 1:1½:2½) eller en kraftig Tvær-Armering eller Bevikling, undertiden støbes ogsaa særlige Kvadere til Anvendelse her.

b. Beton- og Jærnbeton-Kvadere. Disse faar (Fig. 77) en Tykkelse (maalt efter Buens Midtlinie) omtrent lig Hvelvtykkelsen (d) og formes saaledes, at de berører hinanden langs Cylinderflader med lidt forskellig Radius (for den konvekse $r = 1,5 d - 3 d$, for den konkave $r = 2 d - 4 d$). De støbes i stærke Træforme, indvendig beklædte med Jærnblik, Cylinderfladerne bedst (men dyrt) mod høvlede Støbejærnsplader, ogsaa mod nøjagtigt fremstillede Gips- eller Betonforme. Stødfugerne mellem de enkelte Kvadere paa de to Sider af Charnieret skal flugte. Blandingen kan være 1:1½:2 - 1:2:2½ eller lign., Armeringen, hvis en saadan anvendes, kan bestaa enten kun af Tværstænger (Fig. 77) eller af en Bevikling; til Lettelse ved Transport og Opstilling indstøbes Øskner (a i Fig. 77). I Berøringsfladen indlægges praktisk en 1/10 mm tyk Messing- eller Kobberplade; undertiden har man ogsaa indlagt en smal (5 mm) Blyplade, hvorved Trykket fordeles over en lidt større Bredde (1/5 - 1/4 af Fugen). - Beregningen foretages bedst efter Hertz' Formel (se J.K.I., S. 166), som her lyder:

$$\sigma = 0.423 \sqrt{EA \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)},$$

hvor A er Charniertrykket pr. Længdeenhed i Frembringerretningen, E Elasticitetskoefficienten, som for Beton kan regnes til 200.000 & 250.000 kg/cm², og r₁ og r₂ Radierne til den konvekse og den konkave Cylinderflade. Den tilladelige Værdi af σ kan efter Handb. f. Eisenbetonbau (2det Opl., Bd. 6, S. 400) regnes til 200 kg/cm². Med disse Talværdier og med r₂ = αr_1 kan Formlen skrives: $A = \frac{\alpha}{\alpha-1} \cdot r_1$, hvor A er udtrykt i kg/cm og r₁ i cm.

c. Vuggelejer af Jærn, Støbejærn eller Staalstøbegods, i enkelte Tilfælde ogsaa med sammennittet Over- og Underdel, konstrueres og beregnes ganske som til Jærnbroer (J.K.I., § 12). Man kan anvende Tangential-Vuggelejer (Fig. 78), hvor den indbyrdes Forskydning af de to Halvdele maa hindres meget effektivt (f. Ex. ved kraftige Dorne som i Fig. 78), eller Tap-Vuggelejer (Fig. 79). De to Leje-Halvdele spændes sammen med Bolte i rigtig indbyrdes Stilling under Monteringen, og Boltene savses senere over. I Almindelighed indstøbes Størstedelen af Lejet (se Fig. 79), undertiden som ovenfor omtalt endog hele Lejet, saa Charniervirkningen ophæves; ellers lader man som i Fig. 79 en aaben Fuge blive staaende og overdækker denne (hvis Væjrbefæstelsen eller Jordfyld skal føres derover) med en Jærnplade, Zinkblik (Fig. 80) eller lign., eller man fremstiller Fugen ved indstøbningen at indsatte en Plade af Asfaltfilt, Korksten ell. lign. og lade denne blive siddende.

d. Fjeder-Charnierer som i Fig. 81 er angivne og udførte af Mesnager i 1910 og er i Princippet ganske analoge med de i J.K. III, S. 153-54, omtalte Fjederplade-Knudepunktsforbindelser. Fjederen dannes af Rundjærnstykker, der paa hver Side af Charnieret er indstøbte paa en tilstrækkelig stor Længde til at hele Kraften kan blive overført ved Adhæsionen, og de ligger (i Fig. 81) tæt sammen, fire og fire. Ved Charnieret ligger de frit, kun omstøbte med et Par Centimeter Beton, paa en Længde lig 5 Gange Diametren, og idet Bundterne divergerer svagt, lettes Optagelsen af den Bøjning, der hidrører fra, at Charniertrykkets Retning kan afvige lidt fra Buens Tangent (Momentet vilde være = største Tangentialkraft $\times$ det halve Fritliggende, hvis alle Jærnene var parallelle). Er der for knæben Plads til det nødvendige Antal Rundjærn, kan man bruge Firkantjærn. Nærmere Oplysninger findes i "Le Génie Civil" 1910, 30. Juli og 27. Aug.

4. En Trækstang til Optagelse af Buernes Horizontaltryk anvendes, hvis Funderingen af tilstrækkelig svære Endepiller vilde blive for vanskelig og dyr. Trækstangen lægges i Højde med Brobanen og indstøbes i dennes Kantningsdrager. Som Armering kan man anvende et Antal Rundjærn, men bør i saa Fald dække Stødene ved Skruemuffer (opstukkede Stang-Ende) og ved Forbindelsen med Buen ligeledes benytte Skrueskæring og Møttrikker, der ligger an mod svære Ankerplader (Fig. 82). Da en saadan Konstruktion baa- de bliver dyr og ikke helt upaaklagelig, idet man vanskeligt kan faa strammet alle Rundjærnene lige meget, har man ofte foretrukket Fladjærn eller valsede Profiler, f. Ex. $\square$ -Jærn; Stødene dækkes da ved Lasker og Nitning, og ved Enderne anvendes Knudeplader med paanittede Vinkeljærn ell. lign., hvorigennem Trækket kan overføres til Betonen. I Fig. 83 er Trækstangen dannet af 6 Stkr. Fladjærn, hvorfra Trækket gennem Knudeplader overføres til 6 Stkr. lodrette $\square$ -Jærn, der igen stemmer mod 3 vandrette Stkr. I-Jærn. I Fig. 83 a (Pl. 7) bestaar Trækstangen af 12 Stk. Fladjærn (180 x 22 mm), anbragte i to Etager; for Enderne er Fladjærnene bøjede rundt efter Cirkelbuer og for yderligere at sikre Forankringen er der tilføjet 23 Stkr. lodrette 20 mm Rundjærn langs Rundingernes Inderside (Steintorbrücke i Halle).

Ved de første Broer af denne Slags har man til Trods for Tilføjelsen af Trækstangen støbt Buer og Piller sammen og derved faaet et meget ubestemt defineret System, hvorved Revner ikke har kunnet undgaas; en Papfuge (som i Fig. 82) er i Virkeligheden heller ikke tilstrækkelig, idet der med de Bro-Længder, der her er Tale om, ubetinget bør være et let bevægeligt Leje ved den ene Ende. Man bør her anvende enten et Vugge- og Rulleleje af Jærn (Staalstøbegods) eller som i Fig. 83 et Pendulleje, dannet af en armeret Beton-Kvader. I enkelte Tilfælde har man foretrukket (som i Fig. 84) at indskyde Charnierer i Buen lige over Trækstangen.

Naar Trækstangen tillige skal fungere som Brobanebjælke eller Vinddragerflange, maa der indlægges de hertil nødvendige extra Armeringsjærn.

Om forskellige andre Maader til at optage eller formindske Horizontaltrykket i Tilfælde af vanskelig Fundering nærmere i § 12.

§ 11. Vinddragere og Tværafstivninger. Naar Broen bæres af en gennemgaaende Hvalving med Jordfyld over, vil Pilhøjden i Reglen være lille, og den svære og massive Konstruktion vil da saa godt som altid, naar der ikke er Tale om meget stor Spændvidde, være tilstrækkelig til Optagelse af Vindtrykket, uden at der behøver at træffes særlige Foranstaltninger. Højest kan man maaske danne sig et Begreb om de af Vindtrykket fremkaldte Spændinger ved Hjælp af den nedenfor angivne Tilnærmelsesberegning. Noget anderledes stiller Sagen sig, hvis der anvendes en gennembrudt Konstruktion med Sparebuer eller Bjælkebrobane, og navnlig hvis den gennemgaaende Hvalving erstattes med Enkeltbuer.

De Elementer, man har til Raadighed ved Opbygningen af den bærende Konstruktion, der skal optage Vindtrykket, er da følgende. Brobane-Bjælker og -Plade danner tilsammen en stiv Vinddrager, hvori der kun maaske skal indlægges nogle extra Armeringsjærn i Kanthningsdrageren, for at den skal være i Stand til at gøre Fyldest overfor den Del af Vindtrykket, der falder paa den. En gennemgaaende Hvalving danner ligeledes en kraftig Vinddrager, idet der maaske dog ogsaa her maa tilføjes nogle extra Armeringsjærn langs Kanterne; en væsentlig Forstærkning af Vinddrageren opnaas ved at lade Hvalvingens Bredde vokse hen mod Vederlagene. Enkeltbuer forbindes, saa de danner Flangerne i en Vinddrager, ved Hjælp af en massiv, tynd Plade, armeret paa kryds og tværs, undertiden ogsaa diagonalt, ved et Gitter af Vertikaler og Diagonaler (sjældnere), eller (hyppigst) alene ved stive Vertikaler (Ramme- eller Vierendeel-Konstruktion). En betydelig Forøgelse af Stabiliteten overfor Vindtrykket faas ved at stille Buerne i skraa Planer, med større Afstand ved Vederlagene end i Toppen; ved Buer med stor Spændvidde og navnlig stor Pilhøjde er dette en meget praktisk Foranstaltning. Naar Mellemlæddet mellem Brobane og Hvalving dannes af massive Vægge paatværs, har man heri en Række kraftige Tværafstivninger. Enkelte Søjler kan bringes til at fungere som Tværafstivninger, naar der mellem dem indskydes Diagonalkryds (sjældent) eller blot sørges for stive Hjørneforbindelser (eventuelt med Trekant-Udfyldninger); ved større Højde af Søjlerne tilføjes desuden en eller flere Mellem-Rigler med stive Forbindelser. Hængestænger kan forbindes stift med Broens Tværbjælker, eventuelt ogsaa med Vertikalen i en øvre Vinddrager, hvorved dannes stive Halvrammer eller helt lukkede Afstivningsrammer. Ved Enderne af Broen kan der endelig fremstilles Rammer eller Portaler af to Enkeltbuer, der stikker op over Brobanen, i Forbindelse med den første Vertikal i den øvre Vinddrager.

Imidlertid er det sjældent, at Fordelingen af Vindtrykket paa de forskellige Dele af Konstruktionen er blot nogenlunde statisk bestemt. Dette er f. Ex. ganske vist Tilfældet i Fig. 85, hvis man her tænker sig Søjlerne meget lidt stive; Brobane og Hvalving fungerer da som to af hinanden uafhængige Vinddragere og tager hver for sig det Vindtryk, der falder paa dem; hvis Søjlerne derimod er meget stive eller erstattede med en hel Væg, og Understøtningerne ved a paa Grund af Afbrydelserne mellem Brobane og Piller ikke meget effektive, vil Hvalvingen ogsaa faa en Del eller det meste af Vindtrykket paa Brobanen. I Stedet for at overføre Brobane-Vinddragerens Reaktion til Piller ved a kan man ogsaa erstatte Søjlerækken nærmest ved a med en fuld Væg eller anden kraftig Tværafstivning og derved gennemføre Vindtrykket ned til Buens Vederlag. I Fig. 86 vilde Kraftfordelingen ligeledes være givet, hvis der indrettedes Afbrydelser ved b; i Virkeligheden støttes Brobane og Bue i et saadant Tilfælde næsten altid sammen i Toppen, og Forholdene bliver derfor mindre klare, men den af Buen dannede Vinddrager maa dog regnes i Toppen at skulle optage mindst Halvdelen af Vindtrykket paa Brobanen.

Afbrydelsen ved a i Fig. 85-86 kan indrettes paa forskellig Maade. I Fig. 87 og 88 skal intet Vindtryk overføres her, idet dette føres ned til Buen gennem den sidste Søjlerække (Tværafstivning); man kan da enten lade Brobanen støde stumt til Piller (Fig. 87) eller lade Længdedragerne i sidste Fag hvile paa et Glideleje (i Fig. 88 endog et simpelt Rulleleje). Naar Vinddrager-Reaktionen derimod skal overføres ved a, maa man lade den sidste Søjle (Væg) eller en Udkrægning fra Brobanen gribe ind i en nøjagtigt passende Niche eller Not i Piller (Fig. 89).

Naar Brobanen er ophængt under Buerne, vil Virkemaaden for Brobane-Vinddrageren blive forskellig, eftersom der haves en Trækstang eller ikke. I første Tilfælde danner de to uafbrudte Trækstænger Vinddragerens Flanger, og Drageren kan betragtes som simpelt understøttet eller indspændt i begge Endes; i 2det Tilfælde maa hele Brobanen afbrydes et eller to Ste-

der (i Fig. 90 i de to Punkter c), men til Gængæld haves Indspændinger ved Enderne, saa Vinddrageren fungerer enten som en Gerberdrager (ved to Afbrydelser) eller som en indspændt Bjælke med Midter-Charnier. Ved to Afbrydelser er det saa naturligvis ganske nødvendigt (og bedst ogsaa, naar der kun er én) at sørge for, at Vindtrykket kan overføres fra den ene Side af Fugen til den anden; i Fig. 90 ses, at der ved Afbrydelserne findes dobbelte Tværbjælker og Hængestænger, og i Fig. 91 (set fra neden), hvorledes de paa disse Tværbjælker påstøbte Skinnedrager-Konsoller med tilhørende Brobaneplader griber ind mellem hinanden. - Vindtrykket paa Brobanen optages altsaa i alt Fald af Brobane-Vinddrageren; Vindtrykket paa Buerne kan derimod behandles paa forskellig Maade. Naar der ikke er Højde nok for en øvre Vinddrager, maa enten Buen selv kunne taale de fremkaldte Bøjnings- (og Vridnings-) Paavirkninger, hvilket kan undersøges ved Tilnærmelsesberegningen nedenfor, eller Hængestængerne maa gøres stive nok (altsaa i alt Fald af Jærnbeton), til at de af dem og Tværbjælkerne dannede Halvrammer kan afgive en tilstrækkelig Understøtning for Buerne. Samme Konstruktion (med Halvrammer) har man ogsaa undertiden anvendt, selv om der var Højde nok, fordi det formentlig gav et bedre Udseende at udelade Konstruktionsdelene paa tværs ovenover Brobanen. Naar Højden er tilstrækkelig, anbringer man dog gerne en øvre Vinddrager, i Almindelighed i Form af en Vierendeelbjælke (se Fig. 90), hvis Flanger dannes af Buerne; Vertikalerne (tværs paa Broen) kan faa rektangulært eller (som i Fig. 90) T-formet Tværsnit, og Hjørneforbindelserne gøres stive ved Trekant-Udfoldninger. I Fig. 90 understøttes den øvre Vinddrager ved Enderne paa (eller fortsætter sig i) indspændte Portaler, hvis Sidestolper dannes af Buerne. Naar man har stive Hængestænger, kan der ogsaa ved Enderne af Vinddrageren anbringes lodrette Rammer ved at gøre Hængestængerne her særlig stive, men da man tillige har Rammer ved alle Melleknudepunkterne, bliver Forholdene noget mindre klare.

Naar der ingen øvre Vinddrager anbringes, kan der ved store Broer blive Spørgsmaal om Sikkerheden mod Udknækning af Buerne. For indspændte Buer er det kritiske Horizontaltryk $= \frac{4\pi^2 EI_2}{l^2}$ (hvor I_2 er Enkeltbuens Inertimoment om den lodrette Axe, l Buens Spændvidde, se "Ing." 1918, Nr. 83), naar der ses bort fra de af Hængestænger og Tværbjælker dannede Halvrammer. Disse sidste vil imidlertid forøge Sikkerheden i høj Grad (se "Ing." 1918, Nr. 90).

Beregning af en indspændt Bue for Vindtryk. En i begge Ender indspændt Bue er overfor vilkaarligt rettede Kræfter 6 Gange statisk ubestemt, og saaledes bliver man ogsaa nødt til at gennemføre Beregningen overfor Vindtrykket, naar der er Tale om stor Spændvidde og tillige stor Pilhøjde. Her maa det imidlertid være tilstrækkeligt at anføre en simpel Tilnærmelsesberegning, der er angivet af Gaber ("Bau u. Berechnung gewölbter Brücken etc.", Berlin 1914, S. 21 og S. 54), og som i de almindeligt forekommende Tilfælde synes at kunne give et nogenlunde rigtigt Begreb om Sagen. - I Stedet for i Buen i Fig. 92 a beregner man Spændingerne i de i Fig. 92 b og c viste to Bjælker, af hvilke den ene er indspændt i begge Ender og har Længden s = Buelængden, den anden er indspændt forneden og har Længden f , og lægger disse Spændinger sammen. For hvilende Vindbelastning (d.v.s. paa Broen selv) beregner man det totale Vindtryk V_g og regner Bjælken i Fig. 92 b belastet med $v_g = V_g : l$, Bjælken i Fig. 92 c med $v_g' = V_g : (2f)$, ensformigt fordelt. For den bevægelige Vindbelastning, som paa Forhaand er ensformigt fordelt, v_p pr. m., regnes paa Bjælken Fig. 92 b med Belastningen v_p , for Bjælken i Fig. 92 c med $v_p' = \frac{v_p l}{2f}$. Belastningerne v_p og v_p' behandles som delvise Belastninger, staaende i de Stillinger, der svarer til den farligste Stilling af den bevægelige Belastning ved Undersøgelsen af vedkommende Tværsnit i Buen for lodret Belastning i Buens Plan.

§ 12. Endepiller og Fløje. Endepillerne kan, som allerede i § 8 nævnt, bygges paa de to i Fig. 93-94 viste væsentlig forskellige Maader: som en lodret, svær Mur, i hvilken man vil bruge vandrette Skifter, hvis der overhovedet er Tale om Murværk i Skifter, eller som en Fortsættelse af Hvælvingen, hvorunder denne bredes saa meget ud, at Trykket paa Grunden ikke bliver for stort. Som Materiale kan naturligvis baade Murværk, Beton og Jærnbeton komme i Betragtning, ved indspændte Buer, hvor Armeringen fra Buen skal føres ned og forankres i Piller, dog fortrinsvis de

to sidste. Af de to Konstruktioner i Fig. 93 og 94 er den i Fig. 94 næsten altid billigst, endogsaa i saadanne Tilfælde. hvor man som i Fig. 95 ønsker en lodret Mur til Begrænsning af Broaabningen; det ses uden videre, at der ikke vilde kunne spares synderligt paa Pillens Dimensioner bagud, selv om Rummene mellem det egentlige Vederlag og Skærm-Muren i Fig. 95 udfyldtes. - En Mellemstilling mellem Fig. 93 og 94 indtager det af Jernbeton udførte, i Ribber og Plader opløste Vederlag i Fig. 96, der særlig egner sig i Tilfælde af Enkeltbuer; der findes da en svær Ribbe i Broens Længderetning i Fortsættelse af hver Enkeltbue, medens Ribberne paa tværs kan holdes forholdsvis spinkle, idet de kun tjener som Skærmmur og Forbindelser mellem de førstnævnte Ribber. Den gennemgaaende Fundamentplade maa gøres stærk nok til at fordele Trykket fra Ribberne ensformigt over Grunden. Alle Cellerne mellem Ribberne fyldes med Jord for at forøge Stabiliteten.

De to Fordringer, der maa stilles til Vederlaget, er: tilstrækkelig lille Tryk paa Grunden og Sikkerhed mod Glidning. Den første Fordring medfører, at Fundamentet skal bredes ud, og dette lettes ofte meget ved Anvendelse af en Armering langs Underfladen; ved Hjælp heraf kan man give Fundamentet Fremspring i alle Retninger ligesom en Søjle (ved Udkræning). Undertiden kan man ogsaa herved med Fordel i Stedet for en almindelig Rundjærns-Armering indlægge et Par hinanden krydsende Lag af valsedes Bjælker eller brugte Skinner. - Sikkerheden mod Glidning kræver, at det resulterende Tryk paa Grunden danner en mindre Vinkel med Normalen paa Fundamentets Underside end Friktionsvinklen, højst 20° - 25° . Af Hensyn hertil lægger man Fundamentfladen skraat, og ved stor Udstrækning af denne Flade aftrapper man den, dels for ikke at komme for dybt, dels for gennem Aftrapningen at faa indført en extra Modstand mod Glidning. Som Middel til at reducere Faren for Glidning kan ogsaa en yderligere Udbredelse af Fundamentet komme i Betragtning; i Fig. 97 ses den punkterede Tilføjelse, navnlig ved Medtagelse af Jordvægten ovenover, at bevirke en stejlere Stilling af Resultanten. - Undertiden kan man ogsaa regne den lodrette Flade b-c i Fig. 97 med til Fundamentfladen, opløse Resultanten i en Komposant, der trykker paa a-b, og en, der trykker paa b-c, og sørge for, at Trykket pr. cm^2 intet af Stederne bliver for stort. En saadan Opløsning kan dog udføres paa mange Maader, saa Beregningen bliver temmelig vilkaarlig, og man maa i alt Fald sørge for at være paa den sikre Side med sine Forudsætninger. Melan anbefaler eksempelvis at undersøge følgende to Grensetilfælde: Trykket paa b-c ansættes vilkaarligt til en rigelig lav Værdi, ensformigt fordelt, og med den herved bestemte Tryk-Komposant paa a-b beregnes Trykket paa Grunden og Sikkerheden mod Glidning for denne Flade; eller der forudsættes maksimal Friktion i Fladen a-b, og hermed beregnes Trykket paa b-c (der behøves dog aabenbart endnu en Antagelse for at kunne udføre dette). - Ved en Pille som i Fig. 93 maa man være særlig opmærksom paa Faren for Glidning langs de øverste Skifter (eller Forskydning i de øverste Snit). Konstruktionen egner sig egentlig kun i Tilfælde af meget lille Horizontaltryk (mindre Buer med stor Pillehøjde) eller ved stort Jordtryk paa Bagsiden.

Hvad Beregningen angaar, er her kun Anledning til at gøre opmærksom paa et Par enkelte Ting. De Kræfter, man har med at gøre, er: Pillens Egenvægt, muligvis Opdrift, Jordtrykket og Hvælvtrykket samt eventuelt Bremskraft, og i Tilfælde af en Buebro er den farligste Kombination i Reglen: største Hvælvtryk, eventuelt forøget med (den halve) Bremskraft, og Jordtryk fra ubelastet Jord; dog maa man sædvanligvis ogsaa sikre sig den fornødne Stabilitet af Pillen alene uden Hvælvtrykket (under Opførelsen). Det for et eller andet Snit i Pillen farligste Hvælvtryk kan man i foreløbige Beregninger tage som det, der svarer til største Horizontaltryk, men helt korrekt er dette ikke, og i den endelige Beregning volder det heller ingen Vanskelighed at finde det nøjagtigere. Under Forudsætning af at Resultanten for Snit a-b træffer Snittet indenfor Kærnen (den midterste Trediedel af Tykkelsen), er det saaledes i Fig. 98 vist, hvorledes man ved en Influenslinie kan bestemme det farligste Hvælvtryk; Buen er her antaget at være en Tre-Charniers-Bue. Spændingen G i b kan som bekendt findes af: $G = M_K : W$, hvor M_K er Momentet med Hensyn til Kærnepunktet K , W Snittets Modstandsmoment; Hvælvtrykkets Bidrag til M_K er med Betegnelserne i Figuren: $H_y - A_x$, og Influenslinien for denne Størrelse konstrueres som vist i Figuren. Influenslinien for Hvælvtrykkets Bidrag til Spændingen i a findes paa lignende Maade, idet

man benytter Momentet om Kærnepunktet k_a . For en indspændt Bue konstrueres Moment-Influenslinien paa lignende Maade ved Udtrykket:
 $M = M_0 - X_a - X_b x_1 - X_c y_1$ (T.S. II, S. 260), hvor x_1 og y_1 er Koordinaterne til det betragtede Kærnepunkt (i det i T.S. II, Fig. 141, viste System).

Hvis Resultantens Angrebepunkt falder udenfor Kærnen, og man ser bort fra Trækspændingerne, kan man nøjagtigt nok blive staaende ved de fundne Influenslinier og benytte dem til at bestemme den farligste Stilling af Belastningen paa Buen (strengt taget skulde man erstatte Kærnepunktet med Trediedelspunktet i den nyttige Del af Tegn., men dette Punkt kendes ikke paa Forhaand).

Fløjene konstrueres i alt væsentligt som ved Bjælkebroer, blot er maaske her Parallelfloje hyppigere paa deres Plads, som allerede i § 8 bemærket, idet de virker som Modstandspillere og saaledes forøger Stabiliteten overfor Horizontaltrykket. Ogsaa frit udkragede Fløje (ligesom i Fig. 34, 38, 39) kan være meget fordelagtige, ved To- eller Tre-Charniers-Buer dog kun, naar de støbes i ét med Buen (ikke med Pillen), f. Ex. som en Fortsættelse af Frontmure, i hvilket Tilfælde de ligefrem bevirker en Formindskelse af Horizontaltrykket (smågn. T.S. II, S. 256, Fig. 137); ved indspændte Buer virker en saadan udkraget Fløj paa Pillen med et Moment, der drejer i modsat Retning af Indspændingsmomentet.

Om Funderingen er der her intet at bemærke som særlig gældende for Jærnbeton-Broer; blot maaske, at i Tilfælde af Pæleramning og lav eller skiftende Grundvandstand anvender man med Fordel Jærnbetonpæle. Naturligvis er der fortrinsvis Tale om lavt Pæleværk (paa Grund af Horizontaltrykket), men med Jærnbetonpæle kan man dog bedre gaa noget højere op, idet man kan fremstille solide Trekant-Bukke ved Sammenstøbning af Skraa- og Lodpæle eller to Skraapæle. Det er ikke ualmindeligt at stille alle Pælene skraat paa nær nogle faa, som maa tilføjles af Hensyn til Pillens Egenvægt (Fig. 99).

Derimod kan der være adskilligt at meddele om de Konstruktioner, man har anvendt for at muliggøre en Buebro til Trods for daarlig Grund og vanskelig Fundering. Det simpleste Middel er naturligvis at optage Horizontaltrykket gennem en Trækstang, der forbinder Understøtningspunkterne eller ligger kun lidt højere, men naar dette af en eller anden Grund ikke kan lade sig gøre, og det er umuligt eller dog meget bekosteligt at gøre Pillerne selv tilstrækkelig modstandsdygtige overfor Horizontaltrykket, er Sagen i Virkeligheden meget vanskelig.

Undertiden har man ved mindre Broer over Vandløb støbt et armeret Bundlag (Fig. 100) til Optagelse af Horizontaltrykket; og dette Middel kan ogsaa nok bruges, selv om den forsenkede Trækstang ikke (som omtrent i Fig. 100) forbinder Buens Endepunkter, men ligger lavere, saa Konstruktionen mere faar Udseende som en Ramme med buet Overdel. Herhen hører ogsaa Tilfældet i Fig. 101 (Langenzugbrücke, Hamburg), skønt der her er Tale om en Bro med tre Aabninger; ved Bundlaget i de smaa Sideaabninger forvandles Konstruktionen over disse til stive Rammer, der kan modstaa Sidetrykket fra den større Midterbue. — At lægge en usynlig Trækstang i Brobanen ovenover Buerne (Fig. 102) kan ogsaa lade sig gøre, men bliver let lidt dyrt paa Grund af Trækstangens store Længde, det forøgede lodrette Tryk paa Pillen og den nødvendige Kontravægt, selv om denne her forholdsvis let skaffes til Veje som Jordballast i Jærnbetonkasser, der til dels dannes af Fløjene.

Dernæst kan der være Spørgsmaal om at tilføje en Hale, som vist i Fig. 103 (skematisk) for en To- eller Tre-Charniers-Bue og i Fig. 104 for en indspændt Bue (Schaartorbrücke, Hamburg). I Fig. 103 faar man ved Jordballasten paa Halen direkte Sidetrykket formindsket, i Fig. 104 frembringer Halen et Moment, der paavirker Pillen i modsat Retning af Buens Indspændingsmoment (smågn. Bemærkningerne om de frit udkragede Fløje ovenfor); Fig. 104 betegner, idet der her ikke er funderet under Halen, et Skridt videre end den punkterede Tilføjelse bagud til Vederlaget i Fig. 97. Saade i Fig. 103 og 104 faar man til Gengæld en Forøgelse af det lodrette Tryk paa Fundamentet.

Endvidere kan en Formindskelse af Sidetrykket ved To- og Tre-Charniers-Buer opnaas ved at lægge Vederlags-Charniererne dybere end den 1 og for sig naturlige Beliggenhed (Fig. 105) og derved forøge Pilhøjden; til Gengæld faar man et stort negativt Moment i Snit a-a, hvorfor det er praktisk at give Buen det i Figuren viste Tværsnit med Ribber, hvis Højde vok-

ser stærkt hen mod Enderne. For den indspændte Bue naar man et lignende Resultat ved at lade Buens Inertimoment vokse meget stærkt fra Toppen hen mod Vederlagene (simplest ved Ribber ligesom i Fig. 105), behandle Pillen som Sidestykket i en Rammekonstruktion og maaske endda indskyde et Charnier i Toppen; ved den sidste Foranstaltning opnaar man at kunne gøre Tykkelsen i Toppen meget lille.

Endelig kan man, som af Prof. Möller foreslaaet, men vistnok kun udført én Gang, nemlig ved Amtmand Hoppes Bro over Gudena (Christiani & Nielsen), lade Endepillen støtte mod en løs Plade a-a, Fig. 106, der svæver i Fylden bagved Pillen. Pladen støttes paa et tidligt Stadium i den punkterede Belliggenhed, hvorefter der fyldtes til over den, og det hele fik Lov at sætte sig. Den senere opførte Pille har en tilstrækkelig høj lodret Bagflade, til at en yderligere Synkning af Pladen ikke kan bringe Pillen ud af Berøring med den. Pladens Glidning hindres af Friktionen langs den store Overflade, og der er herved skabt et i vandret Retning fast Støttepunkt. Konstruktionen er maaske noget dristig, men Broen har dog nu staaet i en Aarrække, uden at der har vist sig mindste Ulempe.

§ 13. Buebroer over flere Aabninger; Mellempillerne.

Ved almindelige murede Stenbroer eller uarmerede Betonbroer over flere Aabninger har man hidtil kun skelnet mellem Tilfældene: tykke eller tynde Mellempiller. Beregningen af Hvælvingerne udførtes ved Hjælp af Trykløser, og hver Hvælving beregnedes for sig, som upavirket af en Belastning paa de tilstødende Hvælvinger; Mellempillerne undersøgtes dernæst enten for farligste Kombination af de to Hvælvetryk, d.v.s. Summen af de lodrette Tryk + største Differens mellem Sidetrykkene (tynde Piller), eller de gjordes svære nok til at modstaa Sidetrykket fra enhver af de to Hvælvinger for sig, idet den anden Hvælving tænktes falden ned eller endnu ikke opført, men altsaa dog kun Sidetrykket svarende til hvilende Belastning alene eller endog kun en Del af den hvilende Belastning, f. Ex. Hvælvingen selv, men ikke Jordfyld, Vejbefæstelse o.l. (tykke Piller). Derimod tog man intet Hensyn til Mellempillerens Formforandring og den herved følgende Indvirkning af den ene Hvælving paa den anden.

Saa længe man holder fast ved denne Betragtning og bygger Pillerne saa svære, som det følger heraf, er der ingen væsentlige Tilføjelser at gøre i Anledning af Anvendelsen af Jærnbeton i Hvælvingerne; baade angaaende Funderingen, Formen af det vandrette Snit (med Til sætninger for at hindre Opstuvning og Udskæring og af Hensyn til Is), Sidefladernes Hældning, Beklædning med hugne Sten, hvis der kan være Tale om Isgang, o.s.v. kan henvises til Stenbroer. Naar Buerne skal indspændes i Pillerne, maa naturligvis Armeringen føres et Stykke ned i Pillen eller i alt Fald de to sammenstødende Buers øvre Armeringer forbindes over Pillen (se Fig. 107, stiv Armering). Og dernæst kan man ogsaa tilføje en Armering i Mellempillen og herved maaske spare noget paa dennes Tykkelse. Angaaende Bueformen og Pillerens Højde gælder det her ligesom ved Endepillerne, at det giver den billigste Pille, naar Vederlaget lægges dybt ned og Højden altsaa udnyttes som Pilhøjde for Buerne. Paa den anden Side bliver Mellempillerens Konstruktion til Broanens Understøtning herved omstændeligere paa Strækningen nærmest Mellempillen, saa navnlig ved fortløbende Viadukter er det ikke muligt paa Forhaand at fastslaa, hvilken Pillehøjde der fører til den billigste Løsning i det hele taget. Fig. 108 viser skematisk en Ordning, som man herved ledes ind paa, med Indskydelse af forholdsvis store Sparebuer lige over Mellempillerne, hvad ogsaa kendes fra murede Broer; Fig. 109 en endnu videre dreven Udsparring over Mellempillen, overdækket med en hel Rammekonstruktion, men her er Udsparringen ganske vist udført for at skaffe Gennemstrømningsareal for Højvandet og for det lette Udseendes Skyld (Bro over Tarn, Montauban).

Ved denne Betragtning og Beregningsmaade kan man nok blive staaende, saa længe Mellempillerne holdes nogenlunde lave og af lignende Tykkelser som ved Udførelse i Murværk. Blot bør man muligvis danne sig et Begreb om den vandrette Udbøjning af Pillens Top og den Drejning af dens Top-Tværsnit, der bevirkes af Differensen mellem Buernes Horizontaltryk og af Indspændingsmomenterne, og tage de herved forarsagede Ekstræspændinger med i Beregningen. Anderledes stiller Sagen sig derimod, naar Mellempillerne faar en større Højde og udføres som ren Jærnbetonkonstruktion, hvorved ogsaa Tykkelsen bliver mindre; i saa Fald bliver Pillerens

Deformationer saa store, at der ubetinget maa tages Hensyn til en Forplantning af Belastningens Virkning fra én Bue gennem Mellempillerne til de andre Buer. Under Hensyn til de forskellige Deles Stivhedsforhold og eventuelle Charnierer kan der fremkomme følgende forskellige specielle Tilfælde.

a. Ved Anvendelse af Tre-Charniers-Buer (med fremskudte eller ikke fremskudte Vederlagscharnierer) indvirker den ene Bue ikke paa de andre.

b. Ved To-Charniers-Buer faas Tilfældet i T.S. II, § 49, Fig. 162, der beror paa et simpelt System af Clapeyron'ske Ligninger. Er Mellempillerne (Søjlerne) Stivhed lille i Forhold til Buernes, bliver Horizontalt trykket det samme i alle Aabninger (T.S. II, S. 257) og dets gunstige Indflydelse paa Momenterne fra den bevægelige Belastning aftager hurtigt med Aabningernes Antal; for hvilende Belastning og Temperaturvariation er Paavirkningen dog den samme som ved en enkelt To-Charniers-Bue. Fig. 110 viser Mellempillens Konstruktion for den tidligere omtalte Amtmand Hoppes Bro, der tilnærmelsesvis er beregnet paa denne Maade.

c. Fig. 111 viser et System, der statisk set er en kontinuerlig Bjælke med Horizontalt tryk (det samme i alle Aabninger). Ved høje Søjler med spinkle Dimensioner i Forhold til Buernes kan man regne paa samme Maade, saalænge det kun drejer sig om Buernes Paavirkning, selv om de i Figuren viste Charnierer mellem Søjlerne og Buen udelades. — En Indspænding i Endepillerne i Stedet for de ogsaa her viste Charnierer vanskeliggør ikke Beregningen synderligt (småen. Beregningen af en kontinuerlig Bjælke, der er indspændt ved Enderne).

d. Naar Buerne er indspændte i Endepillerne og kontinuerligt støbte sammen med Mellemsøjlerne, faar man den i T.S. II, § 49 (Fig. 167), undersøgte Drager, hvis Behandling er ret besværlig. I de hyppigst forekommende Tilfælde med kun to eller tre Aabninger simplificeres Sagen imidlertid saaledes, at Ulejligheden ikke bliver videre stor, navnlig da alle Influenzlinier kan udledes af Influenzlinierne for de overtallige Størrelser i en enkelt indspændt Bue med samme Form og Tværsnitsvariation. — Fig. 112-113 viser et Par saadanne Broer, hvor Buer og Piller danner én sammenhængende Jærnbetonkonstruktion; Fig. 112 er Skyttehusbroen over Banen lige nord for Vejle, Fig. 113 (med ophængt Brobane) en Bro over Banen for Havnesporet i Odense (meget skæv).

For alle de her omtalte kontinuerlige Buekonstruktioner gælder det, at Buerne bør formes efter Tryklinierne for hvilende + $\frac{1}{2}$ bevægelig Belastning (T.S. II, § 45) og Pilhøjderne om muligt afpasses saaledes, at de to Horizontalt tryk paa en Mellempille for samme Belastning bliver ligestore. Hvis dette sidste ikke kan lade sig gøre, har man ogsaa den Udvej at stille Mellempillerne skraat, efter Resultanten af de to sammenstødende Buers Tryk paa Piller (se Fig. 114, Pl. 7, der viser en Vejoverføring ved Tolne Station). Naar denne Mulighed medtages, kan man udtrykke Reglen for Bestemmelsen af Formen saaledes: Buer og Piller under ét skal formes efter Tryklinien for den nævnte Normalbelastning. Foruden den Bøjning, der følger med den direkte Sammentrykning fra Normalbelastningen, faar man da kun bøjende Momenter fra den halve bevægelige Belastning. Om man skal holde Mellempillerne meget spinkle eller gøre dem forholdsvis svære, afhænger saa i Hovedsagen af Forholdet mellem Størrelsen af den hvilende og bevægelige Belastning.

§ 14. Stilladser. Ligesom ved Bjælkebroer bestaar Stilladset foruden af den egentlige Forskalling af en Overdel (Buestillingerne), en Underdel, bygget op af Stolper eller rammede Pæle, og de i Almindelighed herimellem indskudte Konstruktionsdele til saa vidt mulig stødfri Sænkning af Stilladset.

Forskallingen dannes af tætliggende 5-8 cm Planker paa tværs eller af lidt sværere Krydstømmer, lagt med ca. 5 cm Mellemrum, hvorover sømmes den egentlige Forskalling af tynde bøjelige Brædder. Af Hensyn til den ved Fugtigheden fremkaldte Udbuling bør Forskallingsbrædder eller -Planker lægges med et Par Millimeter Spillerum. For at undgå Grater fra Fugerne dækker man undertiden hele Overfladen med Tagpap. — Forskallingen for Hvalvingens eller Buernes Sideflader opstilles ovenpaa Forskallingen for Underfladen og holdes paa Plads ved Hjælp af Skraastivere ned mod udkragede Forskallingsplanker, ved Enkeltbuer forbindes de to Side-Forskallinger ogsaa ved Tvingere ovenover eller Trækbaand af Staaltraad eller Bolte tværs

igennem.- Endelig behöves der ogsaa en Forskalling for Buernes Bagflade undtagen nærmest ved Toppen, men den anbringes først, efterhaanden som Stöbningen skrider frem, og kan i Almindelighed gøres meget let.

Forskallingsplankerne understöttes i 1-2 m Afstand, hyppigst ca. 1,5 m, af Buestillingerne, og disse anbringes i parallelle Planer paa langs, de yderste lidt indenfor Hvælvingens Kant, for at de kan faa samme Tryk som de andre. Den nærmere Konstruktion af Buestillingerne og deres Understötning udföres forövrigt ganske som ved murede Broer. En af de simpleste Anordninger ses i Fig. 115; Buestillingerne bestaar her alene af selve de paa Oversiden krumt tilskaarne Tömmerstykker, der bærer Forskallingen, og de understöttes ved Stödene af en Række Stolpe-Aag, staaende paa et Fodstykke paa Jorden og foroven forsynede med en Hammer; Buerne hviler direkte paa en Aas lige over Hamren, og mellem disse to er indskudt dobbelte Kiler til Regulering af Höjden og senere Fjernelse af Forskallingen.

Den i Fig. 115 viste Ordning kan dog kun sjældent anvendes uden videre. I Almindelighed bliver man nødt til at bruge rammede Pæle i Stedet for Stolpe-Aagene i Fig. 115, og i det hele er det i de fleste Tilfælde praktisk at faa Stilladset delt i to (eller flere) Etager. Pælerækken under hver Buestilling forsynes da med en Hammer eller Tvingere (Fig. 116) omtrent i Vederlagshøjde (eller ved stor Pilhøjde af Hvælvingen ofte noget højere oppe), og herover lægges (med Kiler eller lign. Mellemlid) et Fodstykke, hvori Stolperne til Understötning for Buerne tappes. Buer, Fodstykke samt Stolper og Skraastivere herimellem danner da et System for sig, og det er dette, man oprindeligt tænkte paa ved Ordet "Buestilling"; ved ganske smaa Hvælvinger samles saadanne Buestillinger i Forvejen og stilles op færdige. Ved større Højde af Buestillingen kan man tilföje Tænger af dobbelte Planker for at formindske den frie Længde af Stolper og Skraastivere (smågn. Fig. 117) og Afstivningskryds mellem Stolperne i de forskellige Buestillinger.

Under-Stilladset bestaar, som nævnt, i Almindelighed af en Række rammede Pælaag. Naar Höjden ikke er ganske ubetydelig afstives Pælene mod hinanden baade i og vinkelret paa Buestillingernes Plan ved Planekryds, der boltes eller spigres paa Siden af Pælene. Ved større Højde maa man bygge Under-Stilladset i flere Etager, idet Pælene forlænges med Stolper (med Endetræ mod Endetræ) og det hele afstives ved gennemgaaende vandrette Tvingere og Kryds i begge Retninger. Ved meget stor Højde kan det blive nødvendigt at tilföje en extra Række Pæle langs hver Side af Hvælvingen og herfra føre Skraastivere op (i en mod Buestillingerne hældende Plan) for at skaffe Stabilitet.

Naar Profil- og Bundforhold tillader det, er den nu beskrevne Byggemaade for Stilladset med mange faste Understötningspunkter baade den sikreste og billigste, og man afviger da kun derfra, naar der kræves et større Gennemsejlings- eller Gennemkörsels-Profil holdt frit. I saa Fald maa en Del af Stilladset bygges som fritbærende, og hertil anvendes næsten altid enten en Sprængeværkskonstruktion (Fig. 117) eller Indlæggelse af Jærndragere (valsede Bjælker, Pladejærndragere), sjældnere Træ-Gitterbjælker.

Ved daarlige Bundforhold bliver det maaske lettere at skaffe enkelte kraftige Understötninger end mange mindre kraftige, og man gaar da over til den i Fig. 118 skitserede vifteformede Konstruktion. Understötningerne kan tilvejebringes ved Hjælp af Pælebundter eller støbte Betonpiller. Ved større Højde af Under-Stilladset kan der være Tale om at anvende den vifteformede Konstruktion enten alene for Buestillingerne eller alene for Under-Stilladset, eller man kan gaa til en Kombination af disse to Muligheder. I første Tilfælde kommer Under-Stilladset til at bestaa af en Række taarnagtige Opbygninger fra de faa faste Understötninger; i 2det Tilfælde beholder Buestillingerne den i Fig. 116 principielt viste Form, saa de kræver mange Understötninger, og disse tilvejebringes ved at lade Hovedbestanddelene i Under-Stilladset være en Række Stivere (indbyrdes afstivede i begge Retninger), der fra de faa faste Understötningspunkter forneden divergerer opad.

Endelig kan man af de lokale Forhold (stort Gennemsejlingsprofil, Isgang, stor Højde under Broen ned til fast Bund o.l.) blive tvungen til udelukkende at anvende et fritbærende Stillads. Et saadt kan udföres som flerdobbelt Sprængeværkskonstruktion og bliver ved lidt større Aabninger let meget kompliceret. I de senere Aar har man ikke sjældent i Stedet herfor anvendt den i Fig. 119 antydede Konstruktion, en Tre-Charniers-Bue med eller uden Trækstang; ved Udförelse i Træ kan Trækstængerne

i Gitteret Jannes som Tænger af dobbelte Planker eller Tømmerstykker. Buerne understøttes simplest paa Afsatser paa Pillerne eller paa Udkrænger, der tilføjes alene for dette Formaalets Skyld og senere fjernes. - I saadanne Tilfælde er man ogsaa gaaet over til at anvende Jærn, ligeledes i Form af Tre-Charniers-Buer eller som simple Gitterbjælker; navnlig naar der skal bygges en hel Række Hvalvinger, saa Stilladset kan udnyttes flere Gange, kan det være fordelagtigt at bruge Jærn.

Hvad Detailleringen angaar, maa det her være tilstrækkeligt at sige et Par Ord om selve Buestillingernes Overdel og Forbindelserne her, hvor Stolperne støder til. Overdelen dannes ved smaa Dimensioner af to eller flere Lag Planker med krumt tilskaaren Overkant og med forsatte Stød: Plankerne spigres eller boltes sammen og understøttes paa Brysterne af de Tapper, hvormed Stolperne griber op i Overdelen (Fig. 120). Ved større Dimensioner dannes Overdelen af Heltømmer med krumt tilskaarne Paaforinger paa Oversiden; undertiden anvendes Paaforinger kun paa det midterste Stykke, og Tømmeret skæres selv til efter Hvalvingens Form hen mod Enderne. Forbindelsen med Stolperne iværksættes som i Fig. 121-22 vist ved en Tap eller svalehaleformet Tildannelse af Stolpe-Enden og Spidsklammer, eller hvis Stolperne gøres dobbelte, som i Fig. 123; i denne sidste Figur ses ogsaa, hvorledes Kilerne kan anbringes helt heroppe, men i Almindelighed foretrækker man ganske vist at anbringe dem paa et andet Sted, hyppigst mellem Buestillingerne og Under-Stilladset (Fig. 116-17). Endelig er der i Fig. 124 (ligesom i Fig. 115) indskudt en Aas mellem Stolperne og Buestillingens Overdel. - Ved endnu sværere Dimensioner danner man ofte Overdelen af to Stykker Heltømmer over hinanden, samlede med Laaseklodser og Bolte.

Som Midler til at regulere Stilladsets Form og navnlig til senere stödfri Sænkning af Stilladset er der ovenfor kun talt om Kiler (dobbelte Kiler af Eg eller andet haardt Træ), men ligesom ved murede Broer anvender man ogsaa her Sandbösser, Skruedonkrafte og Skamler af blødt Træ; f. Ex. til Understötning for Buerne i Fig. 119 vil Skruer ofte være de mest praktiske. Herom, ligesom angaaende de övrige Detailler ved Stilladskonstruktionen, maa dog henvises til Værker om Stenbroer, f. Ex. Lütken: Brobygning II, 1ste Afsnit: Stenbroer, 1915, S. 19 o.f. eller for mere detaljerede Oplysninger til Schönhöfer: Haupt, Neben- und Hilfsgerüste im Brückenbau, Berlin 1911, Handb. f. Eisenbetonbau, 2. Bd., 1907, S. 201, Gaber: Bau und Berechnung gewölbter Brücken und ihrer Lehrgerüste, Berlin 1914, George A. Hool: Reinforced concrete construction, Vol. III, Bridges and culverts, New-York 1916, i hvilke Værker der ogsaa findes en Række Afbildninger af udførte Konstruktioner.

Ved Beregningen af Stilladset gaar man bedst ud fra 1½ Gange den Beton-Vægt, der skal bæres, som Belastning (foruden Egenvægten), idet der saa herved er taget Hensyn til de med Stampningen forbundne Rystelser og den under Stöbningen uundgaaelige tilfældige Belastning; undertiden regnes dog kun med selve Beton-Vægten + ca. 400 kg/m². - Beregningen udføres paa simplest mulig Maade; det drejer sig i Hovedsagen om en Undersøgelse af Buestillingernes Overdel for Böjning og af de vigtigste Stivere for Søjlepaavirkning. Man begynder fra oven med at finde de i Buestillingernes Knudepunkter virkende Belastninger og finder ved simpel Opløsning efter de i Knudepunkterne sammenstødende Stænger, hvorledes Kræfterne fordeles sig over de forskellige Veje, ad hvilke de kan blive ført ned til Understötningerne. Herved maa man i Tilfælde af statisk Ubestemthed gøre Brug af Skön (paa den sikre Side), og ved større Konstruktioner erindre at medtage Egenvægts-Tilvæksterne, efterhaanden som man kommer længere ned. - Foruden den lodrette Belastning maa der ved ikke ganske ubetydelige Bygværker ogsaa regnes med Vindtryk, ved Broer over rindende Vand endvidere med Strømmens Tryk.

Paa lignende halvt beregnende, halvt skønsmæssig Maade skaffer man sig et Begreb om den Overhøjde, man skal give Stilladset, nemlig som Summen af Forkortelserne (eller disses Projektioner paa den lodrette) af alle de Stivere, gennem hvilke Kraften fra Toppen føres ned til Understötningerne, plus et Tillæg for Stødene. Dette Tillæg kan (efter Schönhöfer) ved Endetræ mod Endetræ regnes til 1 & 2 mm og ved Endetræ mod Sidetræ til 5 & 10 mm pr. Stød; disse Tal kan dog ved Indlæg af Klodser af haardt Træ reduceres til Halvdelen og ved Indlæg af Blikplader til Fjerdedelen. Ved fritbærende Stilladser tillægges endnu 20-50 %, eller man udfører bedre en nogenlunde korrekt Nedböjnings-Beregning, f. Ex. ved en Forskyd-

ningsplan.- I mange Tilfælde bestemmer man ogsaa Overhøjden efter empiriske Formler (se Lütken: Brobygning II, S. 16), og man vælger den i alt Fald hellere for stor end for lille.

Endnu nævnes blot, at man under Opførelsen (Betonstøbningen) bør drage Omsorg for, at Stilladset deformeres saa lidt som muligt. Ved mindre Buer nøjes man maaske med at støbe symmetrisk op fra begge Vederlag; undertiden deler man ogsaa Hvelvingen i flere smallere Buer, for at kunne fuldføre Støbningen af hver enkelt af disse uden Afbrydelse. Men ved større Buer vil man nu altid foretage en Deling (ved Normalsnit) i enkelte Segmenter, der støbes hvert for sig; i Fig. 117, hvor en saadan Deling er antydnet, udføres Støbningen i den ved Tallene angivne Nummerorden. De ikke nummererede Afsnit indtages af i Forvejen færdigstøbte Charnier-Kvadere.

Til Slut meddeles endnu efter Schönhöfer følgende summariske Angivelser angaaende Bekostningen ved Stilladset (exkl. selve Forskallingen). Ved Stilladser med mange faste Understøtningpunkter medgaar der 0,3 & 0,5 m³ Træ for hver m³ Beton i Hvelvingen, eller man kan for en ca. 5 m bred Hvelving regne 0,2 & 0,35 m³ Træ pr. m² af Arealet mellem Hvelvingens Underkant og Terrænet.- Til Beslag ved Stød og Knudepunkter kan man med Sparsommelighed klare sig med 10-30 kg Jærn pr. m³ Træ, men ved rigeligere Anvendelse af Jærn (til Sko o.l.) kan man komme op paa 40-70 kg pr. m³ Træ.- Arbejdslønnen for Opstilling og den senere Fjernelse af Stilladset kan beregnes efter 40-55 Timer, hvoraf 15-25 % er Haandlanger-Arbejde, pr. m³ Træ.- Naar man til de saaledes fundne Summer lægger 10-15 % for Værktøj, Forrentning og uforudsete Udgifter, faar man et til foreløbige Projekter tilstrækkelig nøjagtigt Begreb om den totale Bekostning ved Stilladserne. Disse angives ogsaa under normale Forhold at beløbe sig til 10 & 25 % af den totale Overslagssum for hele Broen.

I n d h o l d s f o r t e g n e l s e .

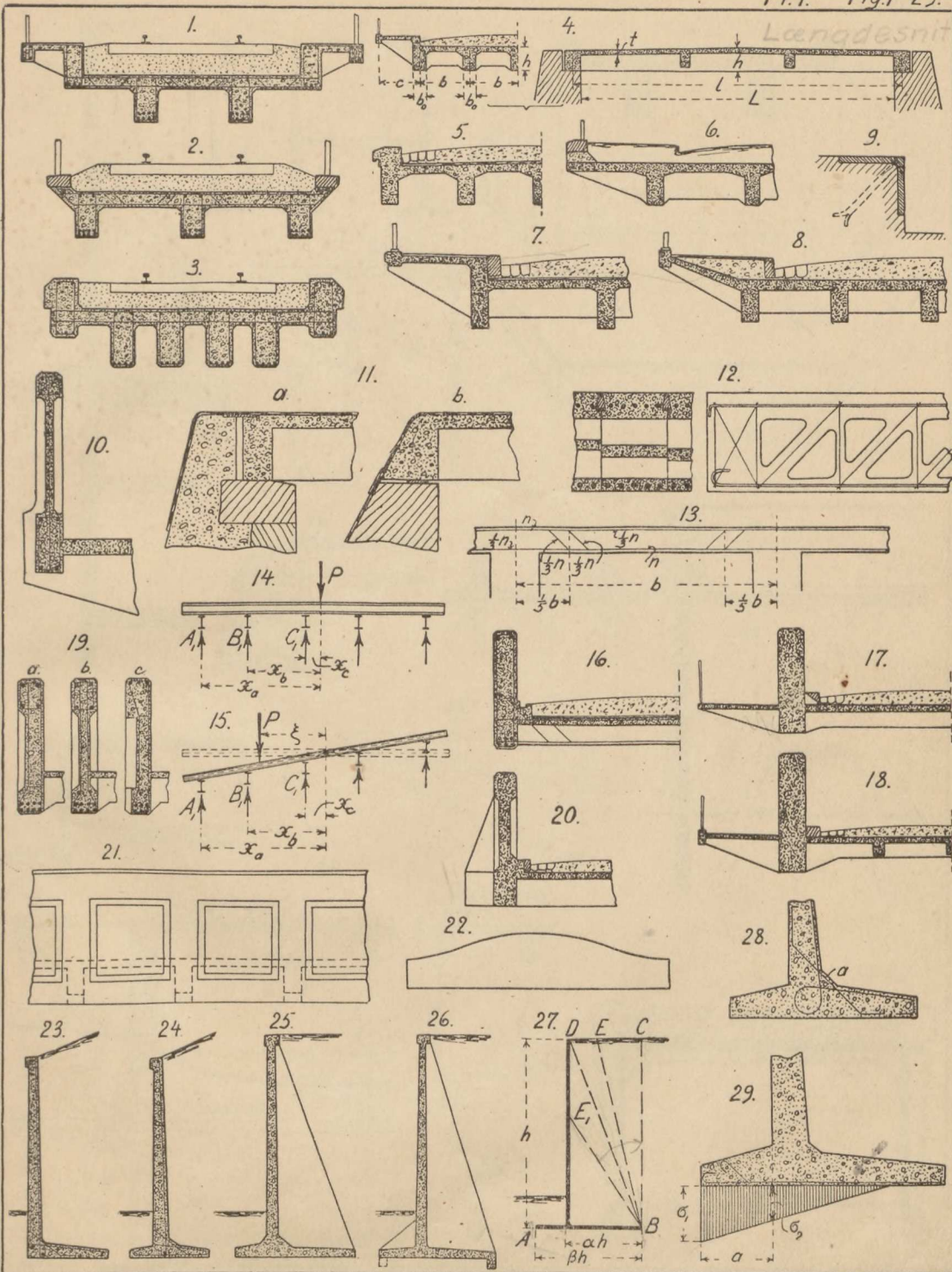
§ 1.	Almindelig Oversigt	S. 1.
------	---------------------------	-------

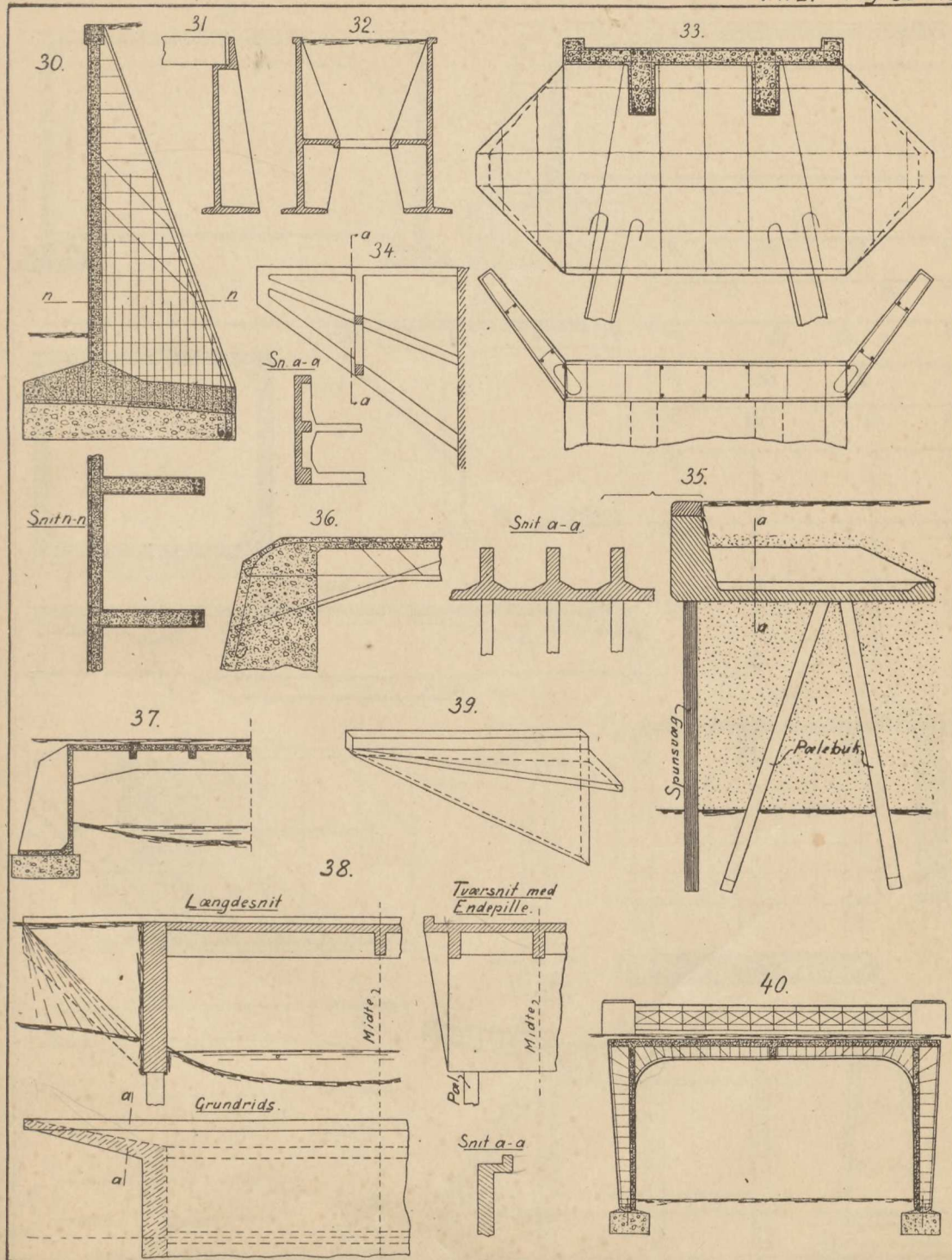
I. Bjælkebroer.

§ 2.	Brobanen foroven, én Aabning	S. 2.
§ 3.	Brobanen forneden " "	" 6.
§ 4.	Endepiller og Fløje	" 8.
§ 5.	Overbygningen støbt i ét med Endepillerne, Portal- og Rammebroer	" 14.
§ 6.	Bjælkebroer over flere Aabninger, Mellem- understøtningerne	" 15.
§ 7.	Stilladser	" 18.

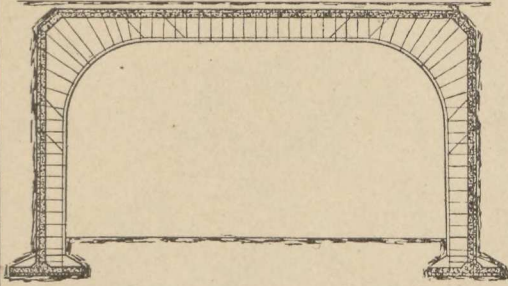
II. Buebroer.

§ 8.	Oversigt over Broformerne, for én Aabning	S. 19.
§ 9.	Brobanen og dens Understøtning paa Buerne	" 21.
§ 10.	Hoveddragerne	" 23.
§ 11.	Vinddragere og Tverafstivninger	" 27.
§ 12.	Endepiller og Fløje	" 28.
§ 13.	Buebroer over flere Aabninger. Mellempillerne	" 31.
§ 14.	Stilladser	" 32.

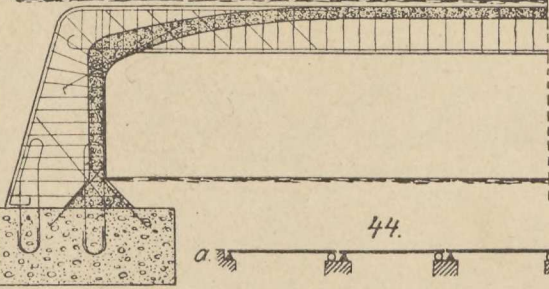




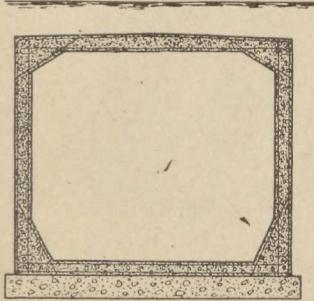
41.



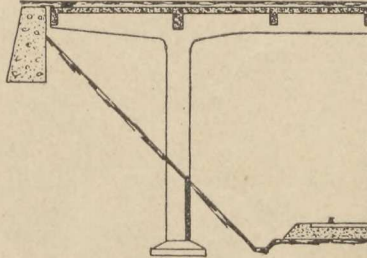
42.



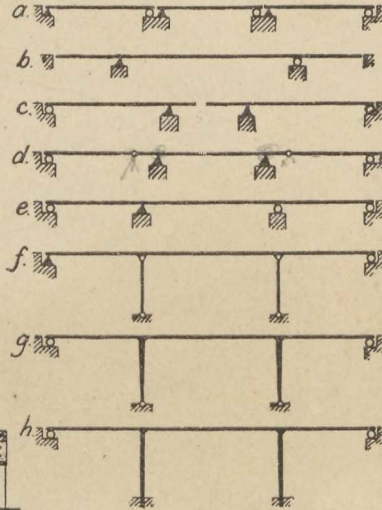
43.



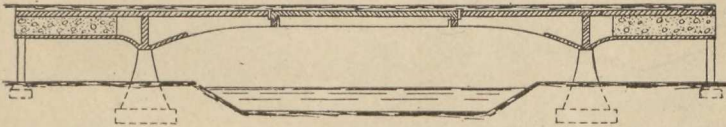
45.



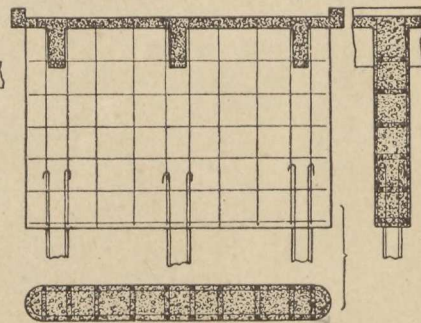
44.



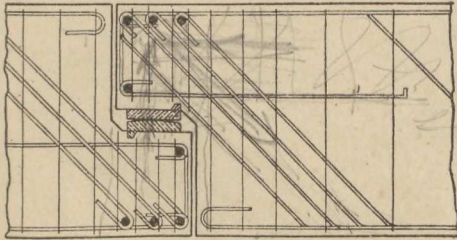
46.



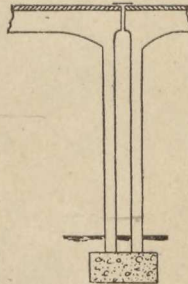
50.



47.

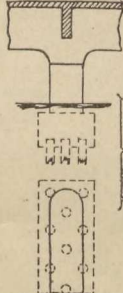
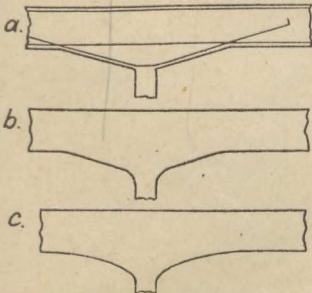


49.

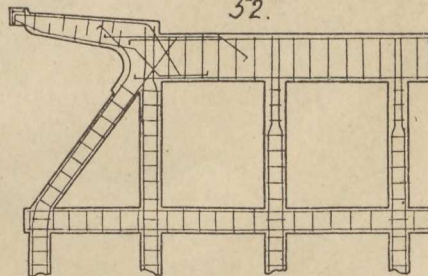


48.

51.



52.



53.

