

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*

OM BROBYGNINGEN

I

NORDAMERIKAS FORENEDE STATER

AF

J. E. GUNSTENSEN

DIPLOMERET INGENIØR

FORSTANDER FOR INGENIØRAFDELINGEN VED TRONDHJEMS TEKNISKE LÆREANSTALT

MED 14 PLANCHER OG 82 TEXTFIGURER

TEKNISK BIBLIOTEK
Danmarks tekniske Højskole
KØBENHAVN K.

TRONDHJEM 1896

FORLAGT AF E. CHR. ELLEWSEN OG A. BRUNS BOGHANDEL

TRYKT I AKTIETRYKKERIET.

624.6
58.

Hr. Direktøren
for den polytechniske Skole
Kjøbenhavn.

Arbødigst
fra Forfatterne.

OM BROBYGNINGEN

I

NORDAMERIKAS FORENEDE STATER

AF

J. E. GUNSTENSEN

DIPLOMERET INGENIØR

FORSTANDER FOR INGENIØRAFDELINGEN VED TRONDHJEMS TEKNISKE LÆREANSTALT

MED 14 PLANCHER OG 82 TEXTFIGURER

TEKNISK BIBLIOTEK
Danmarks tekniske Højskole
KØBENHAVN K.

TRONDHJEM 1896

FORLAGT AF E. CHR. ELLEWSEN OG A. BRUNS BOGHANDEL

TRYKT I AKTIETRYKKERIEET.

Indhold.

Forord	Side 5
Indledning	— 7
A. Brobanens konstruktion	— 9
I. Vei- og gadebroer	— 9
II. Jernbanebroer	— 10
B. Træbroer	— 14
I. Bjælkebroer	— 14
II. Fakværksbroer	— 18
1. Fakværksbroerne i almindelighed.	
2. Detaljer.	
C. Jernbroer	25
I. Materialet	— 25
1. <i>Seesjern.</i>	
a. Strækprøver.	
b. Bøieprøver.	
2. <i>Stål.</i>	
a. Strækprøver.	
b. Bøieprøver.	
II. Pladebroer	— 29
III. Fakværksbroer	— 38
1. <i>Systemer for fakværksbroer.</i>	
2. <i>Detaljkonstruktioner.</i>	
a. Bolte.	
b. Strækstænger.	
c. Trykstænger.	
1. Trykgurter.	
2. Trykstrævere.	
d. Tvær- og langbærere.	
e. Knudepunkter.	
IV. Enkle fakværksbroer	— 63
V. Cantilever-broer	— 68
VI. Buebroer	— 77
VII. Arbeidets udførelse i værkstedet	— 81
D. Grundlaget for beregningen	— 86

I. Belastninger	Side 86
1. <i>Jernbanebroer.</i>	
a. Tilfældig belastning.	
b. Egenvægt.	
c. Vindbelastning.	
2. <i>Veibroer.</i>	
a. Tilfældig belastning.	
b. Egenvægt.	
c. Vindbelastning.	
II. Tilladte spændinger	— 91
1. <i>Strækspændinger.</i>	
2. <i>Trykspændinger.</i>	
3. <i>Knækningsformler.</i>	
a. Gordons formler.	
b. Johnsons formler.	
c. Coopers formler.	
4. <i>Spændinger ved afvæltende stræk og tryk.</i>	
5. <i>Skjærspændinger.</i>	
6. <i>Oplagerkonstruktioner.</i>	
7. <i>Overhøide.</i>	
E. Slutningsbemærkninger	— 105



Forord.

Materialet til den i det følgende givne fremstilling af den amerikanske brobygning blev for den største del samlet under et besøg ved udstillingen i Chicago 1893. Med hensyn til brobygningen var udstillingen ikke så fyldig, som man kunde have ventet, idet flere af de største brofabriker holdt sig ganske borte. For et nærmere studium af denne del af ingeniørfaget var der følgelig ikke andet at gjøre end ved besøg i værkstederne og ved direkte henvendelse til de amerikanske ingeniører at forsøge at sætte sig så nøie ind i sagen, som omstændighederne tillod. Man blev også overalt mødt med den største velvilje, og det lykkedes på denne måde at få et nøiere kjendskab til den moderne amerikanske brobygningsmåde, end udstillingen selv havde tilladt.

Fremstillingen gjør langt fra fordring på at være fuldstændig. Dertil var hverken tiden eller materialet tilstrækkeligt. Den indeholder kun en bearbejdelse af det samlede material — intet videre —, og er nærmest beregnet paa eleverne af ingeniøraftdelingen ved Trondhjems tekniske læreanstalt som et tillæg til forelæsningerne over brobygning. Men måske den også for andre teknikere ikke er uden interesse.

Trondhjem, juni 1896.

J. E. Gunstensen.

I flere tekniske brancher har amerikanerne gået sine egne veie. Den originalitet og opfindsomhed, de derved har vist, kan ikke andet end vække den europæiske teknikers største interesse. Ikke mindst er dette tilfældet på brobygningens område, og de amerikanske broer viser også i flere retninger afvigelser fra de i Europa brugelige anordninger.

Dette har sin grund i de specielle forhold derover. For brobygningens vedkommende turde især følgende omstændigheder tillægges vægt:

Arbeidslønnerne er høie. Det gjør, at håndarbeidet indskrænkes til det mindst mulige.

Broerne må ofte monteres i fjernt liggende, ubeboede egne. Til dette må der tages hensyn ved konstruktionen.

Arbeidet må udføres raskt. Ved bygningen af en kommunikationslinie gjælder det at få den færdig på kort tid, for at bygningskapitalen så snart som muligt kan begynde at forrente sig. At omkostningerne derved blir større end ved en mindre forceret arbeidsdrift, spiller ofte en underordnet rolle.

Landets størrelse og den storartede og raske udvikling af kommunikationsvæsenet førte med sig, at behovet af broer var stort. Da nu arbeidets deling i almindelighed er mere gjennomført i Amerika end andetsteds, så blev følgen den, at der opstod specielle etablissementer, som befatter sig blot med brobygning og tillige driver dette arbeide i stor målestok. For disse brobygningsanstalter kunde det lønne sig at udarbeide specielle konstruktionstyper, at anskaffe sig special-arbeidsmaskiner til forskjellige øiemed og i det hele taget drive brobygningen på en fabrikmæssig måde.

Det ene med det andet har bidraget sit til at give de amerikanske broer deres fra de europæiske konstruktioner afvigende præg. At under de nu anførte forhold skjønhedshensynene må træde i baggrunden, er en naturlig sag.

I det store og hele kan følgende punkter fremhæves som karakteristiske for den amerikanske brobygningsmåde.

Anordningen er truffen så, at monteringen kan ske raskt, med få hjælpemidler og ved hjælp af mindre øvede — ikke specielt uddannede — arbeidere. Så meget som muligt af arbeidet udføres i værkstedet for at reducere arbeidet ved og tiden for monteringen.

Maskinarbejde anvendes i størst mulig udstrækning.

De anvendte systemer er i regelen enkle og efter den vanlige opfatning statisk bestemte. Af de statisk ubestemte systemer er som bekjendt hængebroerne komne til udførelse for store spændvidder. Videre er der i enkelte byer i den nyere tid bygget nogle buebroer. Men disse konstruktioner forekommer dog kun i ringe antal i sammenligning med bjælke- og fakværksbroerne.

Konstruktionerne er i almindelighed ikke meget forskellige indbyrdes, hverken hvad hoved- eller detaljanordningerne angår. Før var dette anderledes, idet mange broværksteder havde sine egne typer, der som oftest var beskyttede ved patent. Men erfaringen har vist hvilke konstruktioner, der er de bedste. Disse har bibeholdt sig, medens de af mindre værd er komne ud af brug.

Af det anførte kan slutes, at stenbroerne ikke spiller nogen videre rolle. De er kostbare at bygge, fordrer lang byggetid, og på mange steder er det vanskeligt at få passende material. Dog fortæltes det, at i den sidste tid er man ved en del jernbaner ved ombygningen af mindre broer gået over til stenkonstruktioner. Ellers er træ og især jern (stål) det vigtigste bromaterial, og det er blot broer af disse materialier, der i det følgende skal omtales lidt nærmere.

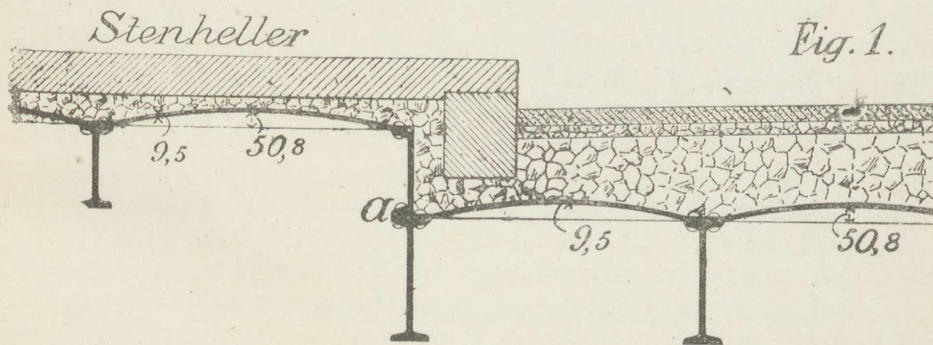
A. Brobanens konstruktion.

I. Vei- og gadebroer.

Kjørebanen ved disse broer viser ingen videre afvigelser fra de i Europa brugelige anordninger. Meget ofte anvendes et enkelt eller dobbelt lag planker af 5—8 cm. tykkelse omtrent. Det underste plankelag lægges ofte i en vinkel af 45° mod broens længderetning, så at det på samme gang danner en god afstivning af banen.

De sekundære langbærere er enten af jern eller træ. I sidste tilfælde udgjøres de ikke sjelden af planker på høikant. De placeres i en afstand af 0.6—1.0 m. fra midte til midte.

På kjørebanen fastboltes i regelen sikkerhedsbjælker af dimensionerne 10×10 til 20×20 cm. i en afstand af omtrent 0.6 m. fra hovedbærerne for at hindre vognene fra at køre mod disse. For enkeltsporet trafik får kjørebanen en bredde af 3.65 m. For hvert spor mere øges bredden med 3.0 m.



Ved stærkt befærdede broer i byer gjøres brobanen dog solidere. Zoréjern synes ikke at være i brug. Derimod anvendes kuppelplader lagte med hvælvingen op eller ned ikke sjelden.

Fig. 1 viser konstruktionen af brobanen på Washingtonbroen over Harlemfloden i New-York. Brodækket bæres af kuppelplader, der er fastnaglede på langbærerne. De oprindelige plader var 4.572 m. lange, 0.914

m. brede og 9.5 mm. tykke. I hver sådan plade pressesdes 5 kupler med kvadratisk grundflade og 50.8 mm. pilhøide. For at beskytte pladerne overstrøges de, efterat de var fastnaglede, med en blanding af Trinidad-asfalt og petroleum.

I kørebanen kommer ovenpå pladerne først et lag asfaltbeton, der gjordes på den måde, at puksten udbredtes i 7—15 cm. tykke lag, valse-des godt sammen og derefter mættedes med varm asfalt. Flere sådanne lag lagdes på hverandre, indtil overfladen dannede en med den endelige brobane parallel flade i 9 cm. afstand fra samme. På siderne er lagets tykkelse ialt ca. 19 cm., men henimod midten blir tykkelsen større på grund af brobanens hvælving.

På dette underlag kommer et andet lag asfaltbeton, der består af puksten og asfalt, som før anbringelsen blandedes godt sammen i varm tilstand. Dette lag pålagdes 5 cm. tykt og valsedes, indtil tykkelsen blev 4 cm. Den såvel til dette som til foregående lag anvendte asfalt var kunstig, erholdt ved destillation af kultjære.

På disse to lag asfaltbeton anbragtes det egentlige slidelag, der består af sand og rensat Trinidad-asfalt med tilsætning af lidt petroleum. Dette lag har en tykkelse af 5 cm. og valsedes og komprimeredes på vanlig måde.

Trottoirbanen består af stenheller på et underlag af asfaltbeton.

Det har vist sig, at asfaltbetonen ikke er ganske vandtæt. Regnvandet trænger ned gennem fugerne mellem stenhellerne og kommer frem ved fugen a.

Washington-broen har 2 hovedåbninger à 155.5 m., overspændte med buer af stål. (Se bl. XIV). Hertil slutter sig på begge sider stenhvælv. Den beskrevne asfaltbane går i ét uden afbrydelse over hele broen. På grund af stålkonstruktionens udvidelse ved temperaturens stigning stues asfalten sammen der, hvor overgangen fra stål-til stenkonstruktionen finder sted. Her danner der sig en tværsover hele kørebanen gående ophøiet ryg, der er meget ubehagelig for passanterne.

Ved den i 1892—93 i Pittsburgh byggede bro (6th street bridge) over Allegheny floden er træbrolægning anvendt i kørebanen. Træblokkene er af eg, 12.7 cm. høje, 9 cm. brede, 20—25 cm. lange og lagte med et indbyrdes mellemrum af 1 cm. De hviler direkte uden noget mellemlæg på et 10 cm. tykt lag af almindelig beton. Mellemrummene mellem de enkelte blokke er udfyldt med cementmørtel. Mellem træbrolægningens yderkant og rendestenen er der et 5 cm. bredt, med lér udfyldt mellemrum for at give træbrolægningen plads til at udvide sig. Trottoirbanen består af et 2 cm. tykt lag af Seyselasfalt på et underlag af tjærebeton. Både kørebanen og trottoirerne bæres af kuppelplader.

II. Jernbanebroer.

Ved disse dannes brobanen vanligen af tværsviller på langbærere. Tværsvillerne er 15—20 cm. brede, 18—25 cm. høje og har en længde for

enkelt spor af 2.44—3.66 m., for dobbelt spor af 6.20—6.70 m. De kammes i regelen ned 1.3—2.5 cm. over langbærerne.

Tværsvillerne ligger meget nærmere hverandre end i Europa brugeligt, idet afstanden fra svillemidte til svillemidte blot udgjør 30—40 cm. Denne ringe afstand anvendes, for at banen skal blive så stærk, at vognene ved en eventuel udsporing kan rulle videre på svillerne og ei falde igjennem. En videre fordel ved denne anordning er, at skinnerne bøier sig ned meget lidet under lasten, så at dennes dynamiske virkning på broen reduceres og kjørselen blir jævnere.

Udenfor skinnerne anbringes på hver side sikkerhedsbjælker, der kammes ned omtrent 2—2.5 cm. over hver sville og boltes eller spigres fast til disse. Sikkerhedsbjælkernes dimensioner er fra 12 til 25 cm. Afstanden mellem skinnens ydre og bjælkens indre kant varierer fra 16 til 75 cm. Meningen med sikkerhedsbjælkerne er at hindre hjulene ved en udsporing fra at komme for langt ud til siden og at forbinde tværsvillerne indbyrdes. Derfor befæstes ikke hver, men kun hver 3die eller 4de sville til langbærerne.

Disse sidste er enten af træ eller jern (stål). Anvendes det førstnævnte material, så består hver langbærer af 2 eller 3 enkelte bjælker, der ligger ved siden af hverandre med et mellemrum af et par cm. De er indbyrdes forbundne med bolte. Den fritbærende længde er nemlig i regelen så stor, at én enkelt bjælke ikke er tilstrækkelig. Langbærerne af jern er enten valsede I-bjælker eller almindelige pladebjælker.

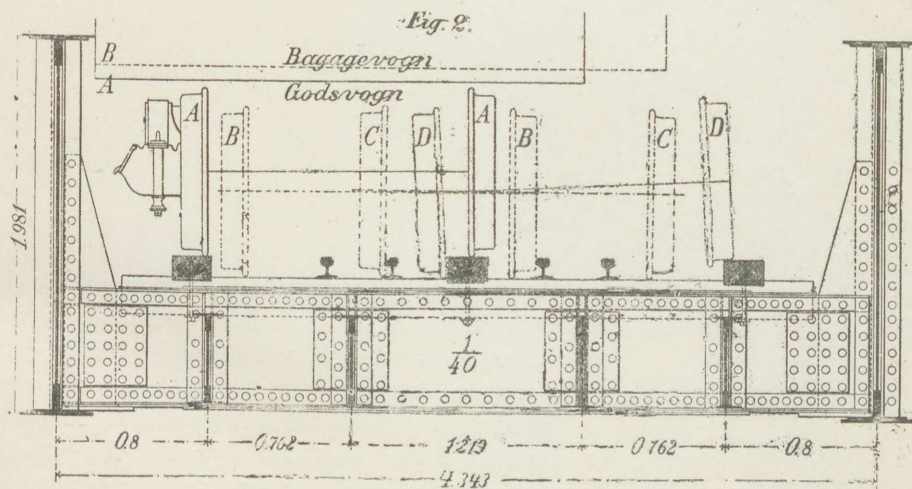
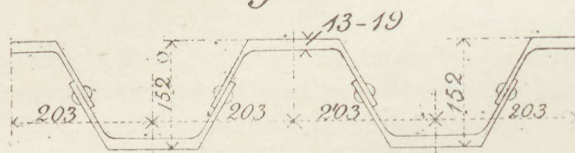


Fig. 2 viser normalkonstruktionen fra Chicago, Milwaukee og St. Paul jernbanen for pladebroer med brobanen nedentil. Foruden de før nævnte sikkerhedsbjælker udenfor kjøreskinnerne er her også mellem disse anbragt et par sikkerhedsskiner, der ligesom bjælkerne har til hensigt

ved en udsporing at begrænse vognenes gang til siden. Man finder denne anordning med flere amerikanske jernbaner. Gjøres mellemrummet mellem køre- og sikkerhedsskinnen lidet, så er det tænkeligt, at fremmede gjenstande kan sætte sig fast i mellemrummet og således netop bevirke en udsporing. Ved den her viste konstruktion er dette mellemrum 27.5 cm., så der neppe kan siges være nogen fare i så henseende. Forskjellige stillinger (A—D) af vognene er antydende i fig. De nærmest hovedbærerne anbragte sekundære langbærere er nødvendige for ved en udsporing at understøtte svilleenderne.

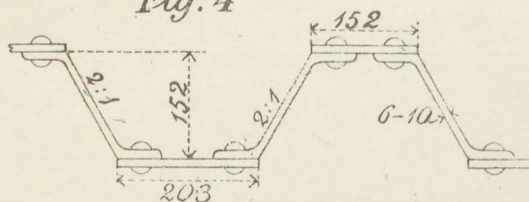
Ved en del stærkt trafikerede baner har man i den senere tid i Amerika ligesom i Europa fortsat ballasten kontinuerlig over broerne og placeret svillerne i ballasten på vanlig måde. Som ballastbærere er anvendt de i fig. 3—7 viste konstruktioner. De lægges enten i broens længde-

Fig. 3



eller tværretning, så som det passer bedst. Den i fig. 3 viste form, der består af skjævvinklede $\sqsubset$ -jern, er den enkleste. Men den fritbærende

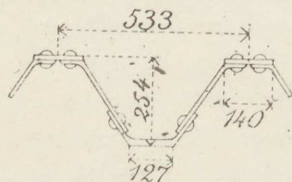
Fig. 4



længde kan ikke være særdeles stor, da $\sqsubset$ -jernene for nærværende i alle fald kun erholdes med de dimensioner, fig. viser. Formen fig. 4, der er

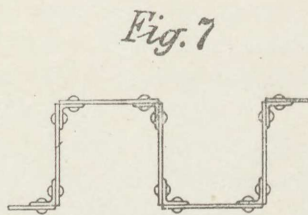
sammensat af plader og skjævvinklede $\sqsubset$ -jern er noget stærkere end den foregående; men den forlanger mere klinkningsarbejde. Den har desuden fuger paa det dybeste, for vandet mest udsatte sted, og om den skal placeres ovenpå bærerne, blir naglehovederne på undersiden iveien, såfremt de ikke forsænkes. De sidstnævnte ulemper ere hævede ved formen fig. 5, der er højere og stærkere. Ved konstruktionerne fig. 6 og 7, der er sammensatte af almindelige plader og

Fig. 5



struktionerne fig. 6 og 7, der er sammensatte af almindelige plader og

vinkeljern, kan man variere dimensionerne efter behag. Men de har samme ulemper som formen fig. 4, og ved anordningen fig. 6 kan befæstelsen



iblandt blive noget besværlig. Der er naturligvis intet i veien for at benytte disse konstruktioner som bærende underlag for brobanen også ved veibroer, endskjønt de såvidt bekjendt endnu ikke er anvendte til dette brug.

B. Træbroer.

Det siger sig selv, at i Amerika, med den tilgang man der har på godt og svært tømmer, spiller træet som bromaterial en ikke ubetydelig rolle. Dette gjælder især for de vestlige stater. I de østlige stater er jernet og stålet nu det vigtigste bromaterial. Træet er billigt, let at bearbejde, og broer af dette material kan bygges færdige paa kort tid, på hvilket sidste der som før nævnt ofte lægges stor vægt.

Træets ulemper er, at varigheden er ringe, og at vedligeholdelsesudgifterne efter nogen tids forløb blir temmelig store. Men ofte kan det ved en ny kommunikationslinie være en fordel i begyndelsen at anvende konstruktioner af en mere provisorisk karakter. Thi når forholdene senere hen har antaget fastere former, kan man, støttet på de vundne erfaringer, gå over til udførelsen af varigere konstruktioner, uden at arbeidet behøver forceres i den grad, som det ved nybygningen vanligen er tilfældet. Man kan tvertimod i ro og mag overveie forskellige alternativer og således have bedre udsigt til at finde den heldigste løsning af den foreliggende opgave. Dette bidrager også sit til at udvide området for træbroernes anvendelse.

Den enkle bjælke og det Howe'ske fakværk er de konstruktionsformer, der som regel anvendes i træ. Spræng- og hængeværker forekommer ikke ofte. Buebroer af træ finder man iblandt, især som veibroer.

Ved forbindelsen af de enkelte bjælker anvendes spigrø, spigerbolte, almindelige bolte og dybler. Tapper og lign., som hos os i regelen bruges i sådanne tilfælde, anvendes ikke meget. I det hele taget lægges der stor vægt på, at udførelsen af arbeidet blir så enkel som muligt, så at speciel håndværkeruddannelse hos arbeideren ikke er nødvendig, og udviklede trækonstruktioner undgås mest muligt.

I. Bjælkebroer.

En for Amerika karakteristisk form af bjælkebroer er de s. k. „bukkebroer“ (trestles). De anvendes istedenfor en fylding, når det er spørgsmål om at føre en jernbane over en større dalsænkning og i lignende tilfælde. Ofte er de kun provisoriske bygningsværker. Således finder

man dem iblandt anvendt for opkjørslerne til jernbroer. Udførelsen af en stor fyldning kræver jo altid forholdsvis lang tid. Står denne ikke til disposition, så bygges først en bukkebro, der da senere erstattes med en fyldning.

Principet for bukkebroerne er, at den hele længde, der skal overbygges, inddeles i mindre felter af 4—6 m. længde. Hvert felt overspændes med en eller anden enkel bærekonstruktion. Som mellemunderstøttelser anvendes pæleåg, hvis konstruktion retter sig efter høiden.

Bærekonstruktionen udgøres vanligen af flere bjælker, lagte ved siden af hverandre. Den sammensatte, fortandede eller fordyblede bjælke forlanger for meget arbejde og anvendes derfor i regelen ikke. Sprængværker anvendes iblandt, dog sjelden. I den nyere tid synes man at foretrække den enkle bjælke.

Bl. I, fig. 1 a—e viser en bukkebro fra Northern Pacificbanen. Under hver skinne er der anbragt 3 bærebjælker af dimensionerne 20×40 cm. omtrent, lagte med et mellemrum af 15 cm. Bjælkerne strækker sig blot over én åbning og støder over oplagerholmen med enderne stumpt sammen i den øvre kant på en høide af 5 cm. Forøvrigt er de afskårne lidt på skrå, så at der ved den nedre kant opstår et mellemrum af 1,3 cm. (Se fig. 1 d). Mellem de enkelte bjælker, der danner en bærer, er der ved oplageret lagt plankestykker af 10 cm. bredde, 40 cm. høide og 1,83 m. længde. Hovedbjælkerne og plankestykkerne er forbundne med 4 skruebolte af 19 mm. diameter. For at udfylde og fixere mellemrummene mellem bjælker og planker er der omkring boltene anbragt støbejernsringe af formen fig. 1 e. Plankestykkerne er videre nedkammede 5 cm. over pæleågets holm.

Ved dette arrangement forhindres en forskyvning af broen i længderetningen. Den indbyrdes forbindelse mellem bjælkerne bevirker, at de ligger sikkert og ikke er udsatte for at kantre. Derved at bjælkeenderne er skråt afskårne, får luften fri tilgang, og regnvandet blir ikke stående i fugen mellem bjælkeenderne.

I tværretningen forhindres forskyvning ved et mellem de to grupper af hovedbærere anbragt bjælkestykke, der er fastspigret til pæleågets holm. Udenfor hovedbærerne er i en afstand af omtrent 0,4 m. fra samme anbragt to sidebærere af samme dimension som hovedbærerne.

Brobanen er anordnet som før beskrevet. Den frie åbning mellem tværsvillerne udgjør 13 cm

Under hovedbjælkerne er anbragt vindkryds, der strækker sig fra åg til åg og er fastspigrede til holmene. For at optage de udad rettede komponenter af kræfterne i vindstræverne er der til holmene fastspigret plankestykker, som er tilskårne så, at de passer til vindstræverne.

De for regnet udsatte dele overstryges med tjære. De to inderste bjælker af hovedbærerne afdækkes med en galvaniseret jernplade, der brettes over bjælkekanterne og fastspigres. Frygter man for, at hoivandet kan stige op til brobanen, fastboltes svillen A til holmen.

Landkarret består af nedrammede pæle med en over dem lagt holm,

som fig. 1 a, 1 b og de prikkede linier i fig. 1 c viser. Er grunden god, så sløifes ofte pælene, og holmen (svillen) lægges direkte på den planerede naturlige mark.

Pæleågenes konstruktion er afhængig af høiden. Er denne ikke over et par meter, så består de *enkle* åg vanligen af nedrammede pæle uden nogen afstivning. Holmen befæstes til pælene med stærke spigerbolte. Ved høider fra 2—6 m. anbringes en afstivning af horisontale og diagonale tænger, der spigres eller boltes fast til pælene. Er høiden endnu større, anordnes afstivningen i flere etager. Bl. I, fig. 6 viser et enkelt åg for høider over 6,0 m. fra Chicago, Milwaukee & St. Paul jernbanen.

De *sammensatte* åg sættes ved almindelig grund på nedrammede pæle, der afsages i passende høide over marken. På disse pæle befæstes med spigerbolte en grundsville, på hvilken åget opbygges. Er grunden god, så lægges grundsvillen iblandt helt enkelt på en pude bestående af korte tværsviller, der hviler direkte på den planerede mark, så at trykket dog fordeles på en større flade. Bl. I, fig. 2, 3, 4 og 5 viser sådanne åg for forskellige høider fra Chicago, Milwaukee & St. Paul jernbanens normaler.

Ved store høider er selve broens anordning så som nu beskrevet, men ågets konstruktion blir selvfølgelig mere klompliceret. Bl. II, fig. 1 a—d viser en konstruktion af 38,76 m. høide fra Northern Pacificbanen. Åget er delt i 5 lige høie etager. Hver etage danner med sin øvre og nedre horisontalsville og diagonale afstivninger et helt for sig. Stænderne er indfældte 2,5 cm. i hver sville og befæstede med jerndybler til den nedre og med spigerbolte til den øvre sville. Jerndyblerne har en diameter af 2,5 cm., er 20 cm. lange og griber til halvdelen ind i stænderen og svillen. Spigerboltene har en diameter af 2 cm., er 46 cm. lange og griber ca. 28 cm. ind i stænderne. Forbindelsen mellem de enkelte etager sker ved 2 cm. skruebolte gennem de hinanden modsvarende sviller.

I broens længderetning er de enkelte åg i hver etage forbundne med horisontale, 20×30 cm. stærke bjælker, der har indskjæringer for svillerne, så at åget holdes fast i opret stilling. Videre er der i hvert andet felt anbragt diagonaler, så at alle knudepunkter er fixerede.

Bl. II, fig. 2, 3 og 4 viser forskellige anordninger af ågenes nedre etage i skråterrain.

Især ved høie bukkebroer må der lægges stor vægt på ågenes afstivning i alle retninger. Dette har ikke altid været tilfældet, og følgen er heller ikke udebleven. Således har det hændt et par gange i den senere tid, at bukkebroer er styrtede sammen, just derfor at afstivningen var mangelfuld. I begge tilfælde fandtes der ikke diagonalforbindelser hverken i længde- eller tværretningen. Ved den ene bro var heller ikke de horisontale forbindelser i længderetningen førte hen til faste punkter i skråterrainet på dalsiderne, hvilket altid bør gøres for at sikre ågenes vertikale stilling.

Følgende sammenstilling giver en oversigt over anordningen af bukkebroerne ved en del nordamerikanske jernbaner.

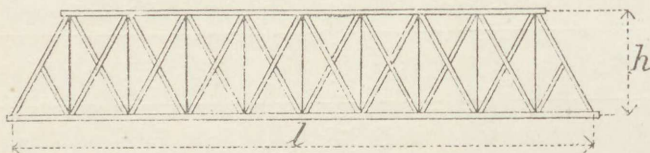
	Jernbanens navn.													
	Northern Pacific	Chicago, Milwaukee & St. Paul	Chicago & North Western	Chicago, Burlington & Quincy	Chicago, St. Paul, Minne- apolis & Omaha	Wisconsin Central	Manitoba	Union Pacific	Burlington, Cedar, Rapids & Northern	Michigan Central	Pennsyl- vania	Pittsburgh, Cincinnati & St. Louis	Cincinnati, St. Louis & Texas	Southern Pacific
Spændets længde f. m. t. m. m.	4,724 6,096	4,800	4,877	4,800	4,267	4,877	3,658	4,877	4,877	4,572	3,048 3,658	3,658	4,572	4,572
Hovedbærernes længde m.	4,724 & 9,488 6,096	4,800	4,877	4,800		4,877	7,316	9,754	4,877	9,144		7,316	9,144	9,144
Hovedbærernes antal og dimensioner . . . cm.	6—20×40 6—23×46	6—20×40	4—25×35	6—15×40	4—20×40	6—15×40	4—18 ×25	4—20 ×40	4—25 ×40	4—23 ×40	for- skjel.	4—18 ×35	4—20×40	6—18 ×40
Sidebærernes antal og dimensioner . . . cm.	2—20×40 2—23×46	2—15×40	2—25×35	2 15×40	2—15×40	2—15×40	2—18 ×35	2—20 ×40	ingen	2—23 ×40	ingen	ingen	ingen	ingen
Sadeltræernes dimen- sioner cm.	ingen	ingen	25×25×162	ingen		ingen	ingen	ingen				25×38 ×152	ingen	ingen
Holmenes dimensioner cm.	30×35×427	30×35×427 30×35×488	30×35×427	30×35×427 30×35×488		30×30×366 30×30×427	30×30 ×427	30×30 ×427				30×30 ×396	30×30× 427	30×30 ×366
Tværsvillernes dimen- sioner cm.	20×20×366 20×20×427	15×20×366	15×20×366	20×20×366	15×20×366 18×20×366	15×20×366	15×20 ×366	15×20 ×366	15×20 ×244	15×25 ×488	18×20 ×305	15×20 ×305	15×20× 274	15×20 ×274
Afstand mellem tværsvil- lerne f. m. t. m. . . cm.	33	30 & 35	35 & 38	30	30 & 40	35	35	40	40		35	40	35	40
Material i tværsvillerne	eg & furu	eg & furu	eg, furu & hemlock	furu	eg & furu	furu	eg & furu	eg	eg	eg & furu	eg		eg, furu & cypres	
Sikkerhedsbjælkernes dimensioner cm.	12,7×20	12,7×20	20×20	12,7×25	20×20	ingen	12,7× 20	18×20	12,7× 20	15×25	20×20	15×20	12,7×20	12,7× 20
Afstand mellem sikker- hedsbjælkernes indre kanter m.	2,000	2,210	3,048				3,743	2,997	1,867		2,476		2,134	2,04
Sikkerhedsbjælkernes ned- kammede over tvær- svillerne cm.	2,5	1,9	2,5	2,5	5		2,5	1,3	2,5		1,9		0	2,5
Sikkerhedsbjælkernes be- fæstelse	spigre & træskruer	spigrede	boltede	boltede			bol- tede	bol- tede	spig- rede	bol- tede	bol- tede		boltede	
Tværsvillernes befæstelse		spigrede	boltede	boltede		spigrede	spig- rede	bol- tede			bol- tede		boltede	
Dimensioner af stræv- erne i pæleåget . . cm.	7,5×25	7,5×30	7,5×25	10×25		7,5×25	7,5× 25	7,5× 25				7,5× 20	7,5×20	
Strævernes befæstelse . .	spigrede & boltede	spigrede	boltede	boltede		spigrede	spig- rede	bol- tede				spig- rede	boltede	

II. Fakværksbroer.

1. Fakværksbroerne i almindelighed.

Som før nævnt er det de efter opfinderen benævnte *Howe'ske* fakværksbroer, der nu kommer til udførelse i træ. Den schematiske anordning viser fig. 8.

Fig. 8



De vertikale, med enkelte linier betegnede konstruktionsdele er af jern; alle øvrige dele er af træ.

Hovedbærerne er vanligen meget høje i forhold til længden, $\frac{h}{l}$ varierer fra $\frac{1}{8}$ til $\frac{1}{3.5}$ omtrent. Dette har sin grund i, at man, når brobanen er anbragt ved den nedre gurt — hvilket ofte er tilfældet — gjerne anordner et horisontalforband også i overgurt. Da den forlangte, frie højde af gennemgangen (lysprofil) altid må findes, så må bærerne følgelig gøres så høje, at horisontalforbandet kommer over lysprofilen.

Som følge heraf blir stræverne forholdsvis steile, da man ikke kan gå over en vis grænse med feltlængden. Vinkelen mellem stræverne og gurterne er omtrent 60° ; en vinkel af 45° forekommer sjelden og i regelen kun med små spændvidder. Modstræver anvendes vanligen over hele broen. Er brobanen anbragt ved den nedre gurt, afsluttes broen for det meste med en skrå endestræver; er brobanen ved overgurt, er endestænderne som vanligt vertikale.

Forbindelsen i knudepunkterne mellem stræverne og gurterne sker ved hjælp af specielle støbejernssko. Knudepunktsklodse af træ anvendes ikke ofte.

Skjødene af bjælkerne i strækgurterne gøres på en eiendommelig måde ved hjælp af jernhager og ikke som hos os vanligen ved lasker. I trykgurterne lader man uden videre bjælkeenderne støde stumt imod hinanden uden lasker eller lignende forbindelser. Trykket overføres fra bjælke til bjælke ved de hinanden berørende flader. Da to gurtbjælker aldrig skjødes i samme plan, og de desuden er godt forbundne indbyrdes med skruebolte, er der ingen fare for, at de kommer ud af sin stilling eller forskyver sig.

Tværbærerne lægges på gurterne mellem fakværkets knudepunkter.



Fig. 9

Er konstruktionshøiden liden, så forekommer det dog, at de ophænges under den nedre gurt med skruebolte.

En før anvendt kombination af Howe's fakværk og bue viser fig. 9. Denne anordning kaldes

iblandt „det forbedrede system Howe“. En del ældre broer af denne art er endnu i brug. For at de to hoveddele, hvoraf konstruktionen består — fakværket og buen — skal kunne passere forbi hinanden i krydsningspunkterne, er fakværket enkelt, men buen dobbelt. Denne sidste er nemlig delt i to enkelte buer, der er anbragte en på hver side af fakværket, men så nær dette som det går an. Fakværket er ellers konstrueret på vanlig måde. Dets knudepunkter er ved hjælp af korte tværbjælker og hængestænger ophængte i eller ved stændere støttede på buen. På denne måde overføres belastningen delvis også på denne sidste. Systemet er naturligvis statisk ubestemt.

Bl. III, fig. 1 a—c viser en åben Howe's fakværksbro med brobanen anbragt på den nedre gurt. Spændvidden er = 22,86 m., den theoretiske bærerhøide = 3,0 m., følgelig $\frac{h}{l} = \frac{1}{7.6}$. Den ringe bærerhøide tillod ikke anbringelsen af et øvre horisontalforband. Derfor er overgurten på fire steder ved strævere og spændstænger afstivet mod lange tværbærere, så som tværnittet fig. 1 c viser. Afstivningen har en hælding af 3:1 omtrent.

Bl. IV, fig. 1—6 viser en større Howe's fakværksbro med brobanen nedentil. Spændvidden er = 44,2 m., bærerhøiden 7,4 m., $\frac{h}{l} = \frac{1}{6}$ omtrent. Her er hovedbærerne så høje, at der mellem overgurterne kunde anbringes et horisontalforband, som fig. 2 viser. Ved denne ligesom ved den foregående bro er der i det første felt anbragt en bistræver (AB i fig. 1, bl. IV), der går fra midten af endestræveren ned til det andet knudepunkt i undergurten. Dette sker for at formindske knækningslængden af stræveren og for at gjøre den stærkere mod de slag og stød, der ved en udsporing kan træffe den. Ved broen på bl. IV er der endvidere i den øverste halvdel AC (fig. 1) mellem hovedstræverne anbragt en extra stræver af dimensionerne 15,2×35,6 cm., så at mellemrummet mellem endestræverne næsten blir udfyldt. Extra-stræveren er fastboltet til hovedstræverne og støtter sig med sin øvre ende mod den første knudepunktssko i overgurten. På denne måde dannes der en art sprængværk ABC med endepunkterne af den første strækstang som støttepunkter.

Man kan ved denne brokonstruktion bemærke, at overgurtens afstivning i tværretningen er noget mangelfuld. Rigtignok er der et øvre horisontalforband, men der er ikke sørget for, at den i endepunkterne af dette optrædende vindreaktion kan overføres til faste punkter. Dog må medgives, at med den bredde, gurterne har, besidder broen i og for sig en ikke ubetydelig sidestivhed, når alle møtriker er fast tiltrukne. Afsluttes en sådan bro med en vertikal endestænder som i Europa vanligt, så kan man bekvemt anbringe sidestrævere udenfor broen og på denne måde overføre vindreaktionen til oplagersvillerne eller murværket.

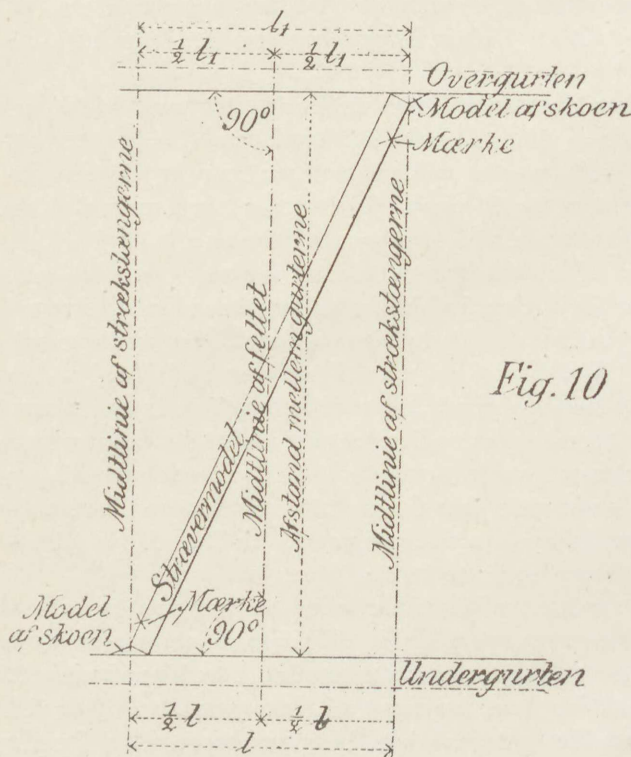
Fig. 5 og 6 viser fordelingen af gurtbjælkernes skjøder i over- og undergurten.

Bl. III, fig. 6 a—b viser anordningen, når tværbjælkerne ophænges i undergurten. Enderne af hver tværbjælke er ophængte i 2 skruebolte, der

er anbragte vekselvis i midten af gurtbjælkerne og i mellemrummene mellem samme.

Bl. III, fig. 2 a—e viser en Howe's fakværksbro med brobanen anbragt på overgurten. Spændvidden er = 43,75 m., bærerhøiden = 7,39 m., $\frac{h}{l} = \frac{1}{5.9}$. I begge ender og på fire mellemliggende steder er broen afstivet i tværretningen med andreakors. De fuldt optrukne linier i tværsnittet fig. 2 d angiver, hvorledes endekorsene er befæstede til gurterne ved hjælp af specielle støbejernssko, der har fremspringende ansatser, som griber ind i mellemrummene mellem gurtbjælkerne. De prikkede linier og detaljen fig. 2 e viser, hvorledes mellemkorsene er anbragte. Tværbærerne er anordnede som tvillingbærere og placerede muligst nær knudepunkterne for at formindske bøjningsspændingen i overgurten. Forøvrigt viser denne konstruktion ingen væsentlige afvigelser fra de før nævnte broer.

Ved alle disse broer er gurterne sammensatte af 4 bjælker og som



følge heraf består de vertikale strækstænger af 3 eller 5 rundjernstænger, eftersom kræfternes størrelse forlanger det. For at fordele spændingen så jævnt som muligt over gurtens hele bredde har de stænger, der arbejder sammen, forskelligt tværsnitsareal. Hvor vertikalen består af 5 enkelte stænger, har de på gurtens yderside anbragte stænger mindre diameter end de 3 øvrige, der er placerede i mellemrummene mellem gurtbjælkerne. Består vertikalen af 3 enkelte stænger, har den midterste den mindste diameter.

Hovedbærerne gjøres så, at de danner en opad svagt krummet kurve. Dette opnåes ved, at overgurtsfelterne gjøres en smule længere end undergurtsfelterne. Krumningen har vanligen sådan størrelse, at den modsvarer nedbøjningen fra egenvægten og den halve tilfældige belastning, så at bærerne ved denne anstrængelse danner en ret linie.

Alt arbejde, som må være nøiagtig udført, gjøres ved hjælp af modeller og chabloner, der er formede efter originalerne. For at bestemme

strævernes exakte længde tegnes feltet i naturlig størrelse. (Se fig. 10). Midtlinien af feltet markeres, gurtlinierne trækkes vinkelret mod samme og parallelle med hinanden. Derefter afmåles en halv feltlængde til hver side i begge gurtlinier, modeller af knudepunktsskoene lægges ind, og strævermodellen tildannes nu nøiagtig. Enderne af stræverne mærkes, så man ved monteringen let kan finde den rigtige stilling. Alle flader, som ikke er tilgængelige efter monteringen, overstryges før sammensætningen godt med blyhvidt.

2. Detaljer.

De enkelte bjælker, hvoraf gurterne består, forbindes indbyrdes på et par steder i hvert felt med gennemgaaende bolte. Disse anbringes i regelen parvis, dog så, at to bolte ikke kommer i samme tværsnit. Kun der, hvor gurtbjælkerne skjødes, anbringes boltene i samme vertikalplan på grund af anordningen af skjødforbindelsen. Ligeså anbringes et par bolte i selve skjødfugen for at sikre bjælkeendernes indbyrdes stilling. (Smlgn. konstruktionerne på bl. III og IV). Mellemrummene mellem gurtbjælkerne udfyldes omkring boltene med udføringer af træ eller støbejern. Tykkelsen af disse udføringer er enten lig mellemrummet eller noget større, så at de skjæres ind et par cm. i hver bjælke. Den sidste anordning har den fordel, at bjælkerne virker mere som et helt, og den bidrager til at fordele spændingen jævnt over hele gurttværsnittet, om en bjælke på grund af unøjagtigheder ved arbeidets udførelse skulde blive udsat for større anstrængelse end en anden.

Bl. VI, fig. 1 a—b samt fig. 2 og 6 viser nogle sådanne udføringer af støbejern. Den førstnævnte har samme højde som gurtbjælkerne. Den griber ind 2 cm. i hver bjælke og er, som opridset viser, noget kileformig, for at den nøie skal kunne passes ind i udskjæringerne i bjælkerne. Den tjener som udføring for to bolte, der placeres skrås overfor hinanden, en i hver af de i siderne anbragte åbninger. Udføringsskiverne fig. 2 og 6 tjener kun for en bolt. Den første griber ind 2 cm. i hver bjælke, den sidste har en tykkelse lig mellemrummet mellem bjælkerne.

De enkelte dele, der anvendes ved skjødning af bjælkerne i strækgurterne er viste i fig. 1—4 på bl. V. På den ene side af skjøden anbringes en plade af formen fig. 1 a, på den anden side kommer pladen fig. 1 b så, at afstanden fra yderkant til yderkant af pladerne blir omtrent 2 m. Begge plader, der er af støbejern, har korte cylindriske tapper *f*, der griber ind i gurtbjælkerne. På den ene plade er kanten $x-y$ skrå, på den anden vertikal (x^1-y^1), ellers er de lige. Smedejernshagen fig. 2, der passer ind i fordybningen *g* i midten af pladerne, anbringes så, at den griber om disse kanter. Forbindelsen strammes ved hjælp af den i fig. 4 viste kile, der anbringes mod kanten $x-y$ i pladen fig. 1 a. I åbningerne i pladerne placeres et par af de før nævnte forbindelsesbolte.

Kraften i bjælken går gennem de korte tapper over i skjødpladerne og fra disse til hagen. Befinder hagen sig i mellemrummet mellem gurt-

bjælkerne, så holdes den på sin plads af nabobjælken, og nogen foranstaltning for at hindre den fra at falde ud behøves ikke. Ligger hagen på ydersiden af gurtten, så sikres dens stilling derved, at der udenpå hver skjødplade befastes en dækplade af den i fig. 3 a—d viste form. (Smågn. broerne på bl. III og IV). I broens midte, hvor gurtbjælkerne er meget anstrængte, anbringes en sådan skjødforbindelse på hver side af bjælken, medens ved enderne, hvor anstrængelsen er mindre, man ofte nøier sig med en enkelt hage på den ene side af bjælken.

Den her viste skjødforbindelse hører til broen på bl. IV. Bjælkerne i undergurtten har der, hvor knudepunktsskoene er anbragte, et effektivt tværsnitareal af 16×40 cm. Forudsætter man en spænding af 60 kg. pr. cm.², så blir kraften i en bjælke = 38 400 kg. I hver skjødplade er der 27 tapper, der med en diameter af 3,2 cm. griber 2,5 cm. ind i bjælken. På projektionen af hver tap (diameter $\times$ længde) blir da, når friktionen lades ud af betragtning, spændingen = 89 kg. pr. cm.², d. e. omtrent 1,5 gange strækspændingen. I hagen med dimensionerne $2,5 \times 7,6$ cm. blir spændingen = 1010 kg. pr. cm.².

Overførelsen af stræverkræfterne til gurterne og strækstængerne sker som allerede nævnt ved hjælp af støbejernssko, der har en efter omedet afpasset form. Bl. V, fig. 7 a—e viser den nedre sko for endestræverne i broen på bl. IV. Fig. 7 a er grundrids seet ovenfra, fig. 7 b grundrids seet nedefra, fig. 7 c er oprids og fig. 7 d og e tværsnit. Stræverne støtter sig mod skoens skrå flade og for at forhindre en forskyvning griber jerndybler i stræverne ind i de på tegningen antydede huller. Horisontalkomponenterne af stræverkræfterne overføres til gurtten ved de to i gurtens hele bredde gående ansatser h , som griber ind i gurtbjælkerne, og desuden ved tre skruebolte, der går gennem hullerne k og befæster skoen til sadelbjælkerne ved oplageret.

Bl. VI, fig. 3 og 4 viser skoene for de øvrige knudepunkter i strækgurtten af samme bro. Fig. 3 a og 4 a er grundrids seet ovenfra, fig. 3 b og 4 b grundrids seet nedefra, fig. 3 c og 4 c er enderids og fig. 3 d og 4 d tværsnit. Skoen fig. 3 tjener for 3 strækstænger, der er anbragte i mellemrummene mellem gurtbjælkerne; skoen fig. 4 er for 5 strækstænger, 3 i mellemrummene og 2 paa ydersiderne af gurterne. Kraftoverføringen sker her på en meget heldig måde. Stræverne støtter sig mod skråfladerne og holdes i stilling ved hjælp af jerndybler. På skoens langsider er de to fremspringende ansatser f , der griber ind i gurtbjælkerne på oversiden. Videre er der ribberne g , der går ned i mellemrummene mellem gurtbjælkerne og er indskårne 2 cm. i den vertikale side af hver bjælke. Disse ribber, der er lidt kileformige for at kunne passes nøie (se fig. 3 d og 4 d), er forstærkede med flænsener h , så de kan tage del i kraftoverføringen. Kraften går nu gennem ansatserne f og ribberne g over i gurtten, overføres altså på 3 sider af mellembjælkerne, på 2 sider af yderbjælkerne, og spændingsfordelingen blir meget gunstig. Da ribberne har samme højde som gurtbjælkerne, går stræverkræfternes

vertikale komponenter, der skal overføres til strækstængerne, direkte over i disse uden hjælp af gurten.

Bl. VI, fig. 5 a—c viser en anden konstruktion af en knudepunktssko for 5 strækstænger. Gurtbredden er her 87 cm., så de med ribber forstærkede flånses *k*, gennem hvilke de yderste strækstænger går, rager ud udenfor gurterne. Er strækstængernes antal 3, så bruges samme form kun med den forskjel, at de fremspringende flånses *k* ikke findes. Denne konstruktion er enklere, men ikke så fuldkommen som den foregaaende. Kraftoverføringen til gurten sker her nemlig kun ved de to ansatser *l*, der griber ind i gurtbjælkerne på oversiden. Videre kan stræverkræfternes vertikale komponenter blot gennem gurtbjælkerne overføres til strækstængerne. De første anstrænges derfor også på tryk vinkelret mod fiberne. Af denne grund må den flade af skoen, der hviler på gurten, ikke være for liden. For at kraftoverføringen skal kunne ske for de ydre strækstængers vedkommende, må der på ydersiderne af gurten under flånserne *k* anbringes træklodse, der exakt udfylder mellemrummet mellem flånserne og underlagspladen for strækstængerne. Træklodsene befæstes til gurten med et par bolte.

Bl. III, fig. 3 viser en sko for stræverne i vindfakværket. Den har ligesom den foregaaende to ansatser, der griber ind i gurtbjælkerne. Er kræfterne små, så anvendes iblandt cylindriske tapper ligesom ved skjødpladerne for at befæste skoen til gurten. For at holde stræverne på sin plads er der i skoens nedre kant anbragt en lidt fremspringende liste *f*.

Hvor skoens form giver anledning til vandsamlinger, anbringes huller for vandafløbet som antydnet i fig.

Som underlagsplader for strækstængerne bruges ved knudepunkts-skoene fig. 3 og 4, bl. VI, plader af den i fig. 6, bl. V, viste form med en tykkelse fra 19 til 40 mm. Disse ere i dette tilfælde stærke nok, da kræfterne som anført går direkte fra skoen gennem pladen over i strækstængerne. Ved sko af formen fig. 5, bl. VI, hvor stræverkræfternes vertikale komponenter gennem gurtbjælkerne overføres til strækstængerne, bør anvendes underlagsplader, der bedre modstå bøining, for at opnå en jævnere fordeling af spændingen på gurtens underside. Bl. V, fig. 5 viser en sådan underlagsplade af -jern. For strækstængerne i vindfakværket og i det hele taget for enkelte bolte anvendes underlagsskiver af forskjellig form. Bl. III, fig. 4 og 5 viser et par sådanne af støbejern.

På bl. VII er vist normalkonstruktionen af *træpillarerne* for Howe'ske fakværksbroer ved Chicago, Milwaukee & St. Paul jernbanen. Fig 1 a—d viser en endepillar, fig 2 a—e en mellempillar. Er pillarens høide over

6,0 m., så anbringes de horisontale og skrå afstivninger i to etager. Anordningen turde fremgå tilstrækkelig tydeligt af tegningerne uden nogen videre forklaring.

De her viste konstruktioner anvendes ved spændvidder fra 15 til 24 m. For større spændvidder op til 50 m. er konstruktionen lig den her viste, kun med den forskjel, at der i pillarens længderetning — altsaa i broens tværretning — anbringes to pælerader mere, hvorved længden blir omtrent 1,0 m. større.

C. Jernbroer.

I Amerika såvel som andetsteds er jernet (stålet) det vigtigste bro-material. Det har stor styrke og fasthed, er let at bearbejde, forbindelser af hvilkensomhelst art kan udføres uden vanskelighed, og dets varighed er stor. Disse fortrinlige egenskaber gjør, at man med jernet som bro-material kan give sig i kast med opgaver, hvis løsning ikke vilde være mulig med de andre bromaterialier, træ og sten. Det er i jernbroernes anordning, at den største forskjel viser sig mellem amerikansk og europæisk konstruktions- og bygningsmåde.

I. Materialet.

Omtrent indtil 1880 var *sveismetallen* det almindelige bromaterial i Amerika. Men ved denne tid begyndte *smeltmetallen* (flussmetallen) at finde større anvendelse, især for hovedkonstruktionsdelene ved store spændvidder. Tværbærere, langbærere, vindstrævere og lignende dele gjordes dog som før af sveisjern. Det material, som da brugtes, var temmelig hårdt. Der forlangtes således:

For stænger udsatte for stræk en brudfasthed af 4,9—5,6 t. pr. cm.² og en forlængelse ved brud af 12—18 %.

For stænger udsatte for tryk en brudfasthed af 5,6—6,3 t. pr. cm.² og en forlængelse ved brud af 12—15 %.

At man for trykstænger forlangte et hårdere material end for strækstænger var begrundet i faren for udknækning.

I det sidste tiår har smeltmetallen vundet mere og mere terrain, og den anvendes nu for tiden såvel ved større som mindre konstruktioner både til hovedbærere og tværbærere, langbærere, afstivninger o. s. v. Der skal dog være ét jernbaneselskab, som endnu indtager en afventende holdning med hensyn til smeltmetallen og derfor udfører sine konstruktioner af sveisjern. Ellers er det vanligt nu at anvende sveisjern blot til sådanne dele, ved hvilke svejsning er ønskelig. På samme gang, som brugen af smeltmetallen har tiltaget, er man gået over til et blødere material med mindre brudfasthed og større seighed.

I Amerika kaldes vanligen alt smedejern, der fremstilles i smeltet tilstand, stål (steel), enten det lader sig hærde eller ej. Så var også tilfældet med de for den følgende fremstilling benyttede material-specifika-

tioner. Navnet stål er derfor bibeholdt, endskjønt materialet efter sine egenskaber nærmest må kaldes jern.

Smeltmetallen anvendes for det meste af to slags:

Middelshårdt stål (medium steel) til stræk- og trykstænger, pladebærere, helvalsede bærere o. s. v.

Blødt stål (soft steel) hovedsagelig til nagler.

For at kontrollere materialets beskaffenhed anstilles prøver såvel med mindre, af de forskellige materialsorter forarbejdede prøvestænger som også med hele, færdige dele og stænger, så som de anvendes i konstruktionen. Flere af brobygningsanstalterne besidder meget kraftige prøvningsmaskiner, der kan udøve en kraft af 500 t. og derved, så at stænger af temmelig stort tværsnitsareal kan prøves.

I det følgende gives et uddrag af flere specifikationer, hvilket viser de fordringer, der stilles til de forskellige slags material.

Bogstaverne har følgende betydning:

β = brudfastheden i t. pr. cm^2 .

ε = spænding i t. pr. cm^2 ved elasticitetsgrænsen.

Δl = forlængelse ved brud i $\%$ af den oprindelige stanglængde.

ΔF = kontraktion „ — „ $\%$ „ det — „ tværsnitsareal.

c = kvalitetskoefficient = brudfasthed (i t. pr. cm^2) $\times$ forlængelse ved brud (i $\%$) = $\beta \Delta l$.

F = stangens tværsnitsareal i cm^2 .

O = — „ — omkreds i cm.

1. Sveisjern.

De af det færdige material i kold tilstand forarbejdede prøvestænger har et tværsnitsareal varierende fra 1,61 til 6,45 cm^2 , en minimaltykkelse af 6,3 mm. og en effektiv minimal-længde $l = 12$ gange den mindste tværdimension, dog ikke mindre end 13 cm. For det meste måles forlængelsen på en længde af ca. 20 cm. Stængerne underkastes stræk- og boieprøver, der skal give de i det følgende anførte resultater.

a. Strækprøver.

Jernsort.	β t. pr. cm^2	ε t. pr. cm^2	Δl %	c t. %
1. Flad-, rund- og firkantjern med et tværsnitsareal indtil 25–29 cm^2	3,6	1,8	15–20	54–72
2. Plader med en bredde fra 20 til 61 cm.	3,37–3,51		15–12	50–42
3. do. „ „ — „ „ 61 - 91 „	3,23	1,83	10	32
4. do. „ „ — „ „ 91 - 122 „	3,23	1,83	8	26
5. do. „ „ — „ „ af over 122 „	3,23	1,83	5	16
6. Façonjern, med tykkelse under 1,6 „	3,37–3,51		15	50–52
7. do. „ „ — „ „ over 1,6 „	3,37–3,51		12	40–42
8. Hele, færd. valsestænger (i fuld stør.)	3,16–3,51	1,76	12,5–10	39–35

I nogle specifikationer er brudfastheden på en måde gjort afhængig af den grad af bearbejdelse, materialet har været underkastet.

Dette sker ved at bestemme β af følgende formel:

$$\beta = A - B \frac{F}{O}$$

hvor A og B er konstanter. For flad-, rund- og firkantjern (gruppe 1) er formelen:

$$\beta = 3,66 - 0,194 \frac{F}{O} \text{ t. pr. cm.}^2$$

og for façonjern (grupperne 6 og 7)

$$\beta = 3,52 - 0,194 \frac{F}{O} \text{ t. pr. cm.}^2$$

Når ved flad-, rund- og firkantjern den oprindelige stangs tværsnitsareal er større end 25–29 cm.², så tillades en reduktion af β modsvarende 7,2 kg. for hver cm.² forøgelse af tværsnitsarealet indtil minimalværdien $\beta = 3,37$ t. pr. cm.².

I en del specifikationer forlanges $\varepsilon = 0,5 \beta$ uden direkte angivelse af talværdien.

b. Bøieprøver.

Bøining i kold tilstand.

1. Flad-, rund- og firkantjern skal uden at briste kunne bøies en vinkel af 180° om en dor med diameter = 1 til 2 gange jernets tykkelse.
2. Plade- og façonjern skal kunne bøies en vinkel af 90° om en dor med diameter = 2 til 3 gange jernets tykkelse.
3. Naglejern skal kunne bøies en vinkel af 180°, indtil begge dele af sloifen ligger tæt sammen.

Bøining i varm tilstand.

Materialet skal kunne bøies i en skarp, ret vinkel uden at briste eller vise revner.

2. Stål.

Nogen speciel fabrikationsmetode — Bessemer's, Martin's, Thomas's — foreskrives i regelen ikke. Man forlanger blot, at materialet skal være så ensartet som muligt og modsvare de nedenfor anførte fordringer. Iblandt foreskrives dog fosforgehalten, der ved Martin-stål ikke må overskride 0,08–0,10 %. Ved Bessemer-stål sættes grænsen endnu lavere.

I nogle specifikationer forlanges, at det værk, der leverer materialet, skal have været i gang i det mindste det sidste år. Grunden hertil er, at man vil have en vis sikkerhed for, at værket er kommet ud af forsøgsstadiet og ind i ordentlig drift, så at det leverede materiel kan forudsættes være temmelig homogent og ensartet.

Produktet fra hver charge undersøges. Prøvestængerne har vanligen en minimal-diameter af 19 mm. og en længde = 12 gange diameteren. De forarbejdes af det færdige material eller vales af specielle prøveblokke.

der støbes på samme gang som det øvrige material. Blokkene udvælges ved jævn varme til den foreskrevne tykkelse, får derpå langsomt afkøle og prøves nu uden videre behandling.

Prøverne må give følgende resultater.

a. Strækprøver.

Stålsort.	β	ε	Δl	ΔE	c
	t. pr. cm. ²	t. pr. cm. ²	%	%	t. %
1. Middelshårdt stål (medium steel)	4,22—4,92	2,32—2,46	20—22	44—45	84—108
2. Blødt stål (soft steel)	3,65—4,36	2,18	25	50	91—109

I nogle specifikationer bestemmes ε , Δl og ΔF af følgende formeler for middelshårdt ståls vedkommende:

$$\varepsilon = 0,6 \beta; \Delta l = \frac{105}{\beta}; \Delta F = \frac{169}{\beta} \text{ eller } \frac{197}{\beta}$$

Disse værdier gjælder for prøvestænger med de før angivne dimensioner. Når hele, færdige stænger, så som de direkte anvendes i konstruktionen, prøves i fuld størrelse, tillades en 5—7 % mindre brudfasthed.

b. Bøieprøver.

For middelshårdt stål forlanges, at materialet uden at briste i kold tilstand skal kunne bøies 180°, dels så, at sløifens ender slutter tæt sammen, dels om en dor, hvis diameter er = 2 til 3 gange prøvestangens tykkelse. I nogle specifikationer forlanges desuden, at materialet efter opvarmning til mørkerødt med derpå følgende afkøling i vand af omkring 28° C. temperatur skal kunne bøies 180° om en dor med diameter = 3 gange stangens tykkelse uden at briste.

Til blødt stål er fordringerne lidt strengere. Der forlanges således, at materialet uden at briste i kold tilstand skal kunne bøies 180°, dels så, at sløifens ender slutter tæt sammen, dels om en dor, hvis diameter er = 2 gange prøvestangens tykkelse. Endvidere forlanger nogle specifikationer, at materialet efter at være opvarmet til gult og derpå afkølet i koldt vand skal kunne bøies 180° om en dor med diameter = 2 gange stangens tykkelse uden at briste.

Antallet prøver er forskjelligt, beroende på mængden af det leverede material. Nogle specifikationer forlanger af hver valesort og for hver leverance af 23 t. eller mindre

3 strækprøver og 3 bøieprøver, hvortil kommer for stål 1 bøieprøve efterat materialet er opvarmet og afkølet.

Andre specifikationer forlanger mindst 10 strækprøver for hvert kontrakt. Er leverancen større end 45 t., så forlanges 1 strækprøve for hver 4,5 t. Et ligeså stort antal bøie- og temperaturprøver kan forlanges.

En del specifikationer indeholder ingen almindelige forskrifter angående antallet prøver, der altså bestemmes for hvert enkelt tilfælde.

Materialet til de nævnte prøver må leveres frit af det værk, der bygger broen. Desuden sikrer ingeniøren sig altid ret til mod extra betaling at foretage yderligere prøver, om han finder det nødvendigt.

Til sammenligning anføres de fordringer, man i forskellige lande her i Europa nu for tiden stiller til bromaterial.

Sveisjern.

Materialsort	Frankrige			Schweiz			Tyskland			Østerrige			Norge		
	β	Δl	c	β	Δl	c	β	Δl	c	β	Δl	c	β	Δl	c
1. Façon og fladjern	3,2	8	25	3,4	13	45	3,6—3,4	12	43—41	36	12	32	3,5—3,6	12—10	42—36
2. Jernplader	3,2	8	25	3,4	12	40	3,5	10	35				3,5—3,6	12—10	42—36
3. Naglematerial	3,6	16	51	3,8	18,5	70	3,8—3,6	18—15	68—54						

Stål (Smeltmetal).

Materialsort	Frankrige 1891			Rusland 1888			Schweiz 1892		
	β	Δl	c	β	Δl	c	β	Δl	c
1. Façon, fladjern i længderetn. og plader i tværretn..	4,2	20	84	3,4—4,0	25	85—100	3,6—4,5	25—20	90
				3,4—4,0	25	85—100	3,6—4,5	22—18	80
2. Naglematerial	3,8	28	106				3,6—4,2	28—24	100

Materialsort	Tyskland 1893			Østerrige 1892			Norge*) 1892		
	β	Δl	c	β	Δl	c	β	Δl	c
1. Façon, fladjern i længderetn. og plader i tværretn..	3,7—4,4	20	74—88	3,5—4,5	28—22	98	3,6—4,5	25—20	90
	3,6—4,5	17	61—76	3,5—4,5	26—20	90	3,6—4,5	25—20	90
2. Naglematerial	3,6—4,2	22	79—92	3,5—4,0	32—26	94—112	3,5—4,0	29—25	100

*) Foreslået af en af arbejdsdepartementet nedsat komité.

Tværsnitsformerne af det valsede material er de samme som i Europa. Der anvendes **I**, **T**, **L**, **Π** og **L**-jern samt flad-, rund- og firkantjern. Dimensionerne holder sig omtrent inden de samme grænser som hos os. Kun fladjernet, der næsten altid anvendes, når det er tale om at optage store strækkrefter, forekommer med en meget større tykkelse — op til 60 mm. og derover — end hos os vanlig.

II. Pladebroer.

Hvad selve konstruktionen angår, viser de amerikanske pladebroer ingen væsentlige afvigelser fra de europæiske. Diagonalerne i horisontal-

forbandet udgjøres enten af rund- eller firkantstænger, der strammes ved hjælp af møtriker, eller også af vinkeljern, der befæstes til hovedbærerne ved hjælp af knudeplader. I den nyere tid foretrækker flere konstruktører denne sidste anordning.

Medens man her i Europa anvender pladebærere vanligen indtil omtrent 10—12 m. spændvidde, bruger amerikanerne dem op til spændvidder af 20—30 m. De klinkes da i værkstedet sammen i længder af ca. 10 m., så at delene kan transporteres på en almindelig jernbanevogn. Selv ved så store spænd som henimod 30 m. kan pladebæreren, hvad billigheden

angår, konkurrere med fakværksbæreren trods det større materialforbrug, da værkstederne er specielt indrettede på at levere sådant arbejde billigt og raskt.

Til fordel for pladebæreren anføres videre, at dårlig slæde nagler ikke influerer så meget på bæreevnen, at de har færre hjørner og kroge end fakværksbæreren, er derfor lettere at holde rene, og vedligeholdelsen stiller sig billigere.

For at undgå efterarbejde er vertikalpladen meget ofte 6—12 mm. lavere end afstanden fra yderkant til yderkant af gurtvinkeljernene. (Se fig. 11). Men herved opstår der i overgurtten en rende, i hvilken vandet kan blive stående. At udfylde renden med kit eller lign. vil ikke nytte meget, da udfyldingsmassen med tiden vil løsne.

Ved længder op til 15—20 m. lægges hovedbærerne på almindelige glide-lagere. Ved større længder anvendes rullelagere.

Jernbanebroer af 4—5 m. spændvidde gjøres vanligen af valsede **I**-bærere.

Ved større pladebroer får hovedbærerne en svag krumning opad, så at midten ligger lidt over forbindelseslinien mellem begge endepunkterne. Denne overhøide frembringes ved en speciel anordning af vertikalpladens skjøder som fig. 12 viser. Vertikalpladerne er rektangulære, støder sammen med sine nedre hjørner, medens der mellem de øvre er et lidet mellemrum. Pladevæggen danner således egentlig en polygon. Da naglerne står i vertikale linier, blir

naglelinierne lidt skrå i forhold til pladekanterne. I det øvre hjørne er afstanden fra kanten til naglelinien i den ene plade lidt større, i den anden

Fig. 11

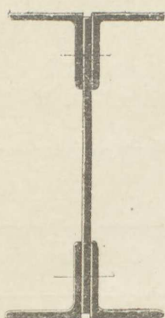
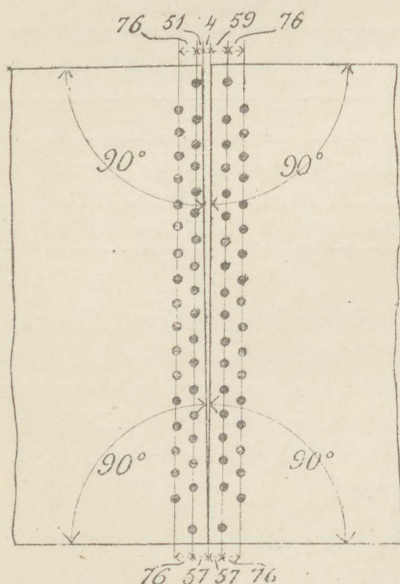


Fig. 12

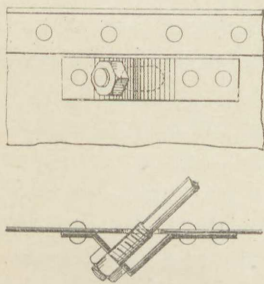


plade lidt mindre end den normale, som fig. viser. Denne anordning kan dog kun anvendes, når vandet sikkert kan holdes borte, så det ikke blir stående i skjødfugen.

Bl. VIII, fig. 1—7 viser en pladebro af omtrent 20.0 m. længde med brobanen anbragt ved den nedre gurt. Fig. 1 viser oprids, fig. 2 grundrids og fig. 3 horisontalsnit af en del af en hovedbærer. Afstanden mellem de vertikale vinkeljern, der afstiver pladevæggen, er ved enden 1,067 m., ved midten 1,625 m. Grunden til den kortere afstand ved bærerenderne er, at skjærkraften her er større end i midten. Fig. 4 viser det halve tværsnit af broen i midten og fig. 5 den halve optagerplade. Ved hver ende er bæreren befæstet til landkarret ved hjælp af 2 stenbolte, der går gennem oplagerpladen og den nedre gurtflæns. Ved den bevægelige ende er hullerne for disse bolte aflange (se fig. 3), så at broens forskyvning i længderetningen ei hindres. Fig. 6 viser befæstelsen af vindstræverne. Under tværbæreren ligger en knudeplade af den i fig. angivne form. På begge sider af denne ligger påforingsplader, (smlgn. fig. 4) så at pladetykkelsen ialt blir $3 \times 12,7 = 38,1$ mm. Til disse plader er vindstræverne, der består af firkantjern, befæstede ved hjælp af bolte og gaffelformede stykker (clevises), så at forbindelsen kan reguleres og strammes.

De sekundære langbærere består af 2 valsede **I**-bærere, ordnede som tvillingbærere. De har en længde af 3,25 m. omtrent. På to steder er de indbyrdes forbundne og afstivede ved hjælp af støbejernsplader og bolte, som fig. 7 viser. Støbejernspladerne er formede noiagtig efter **I**-bærerne. Denne anordning anvendes ofte ved tvillingbærere.

Fig. 13

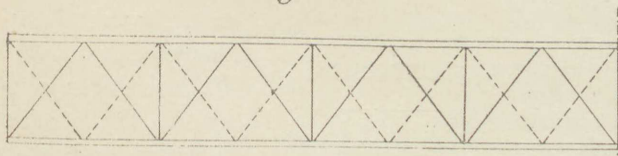


Textfig. 13 viser en anden ofte anvendt metode for befæstelsen af vindstræverne til pladebærerne.

Bl. VIII, fig. 8—13 viser en pladebro fra Northern Pacificbanen ved Tacoma. Den har en spændvidde af omtrent 24,5 m. Brobanen er anbragt på overgurten. Fig. 8 viser oprids, fig. 9 grundrids og fig. 10 horisontalsnit af en del af en hovedbærer. De to sidste fig. viser også befæ-

stelsen af henholdsvis den øvre og den nedre horisontalafstivning, der begge her består af fastklinkedede vinkeljern.

Fig. 14



Textfigur 14 angiver schematisk anordningen af disse af-

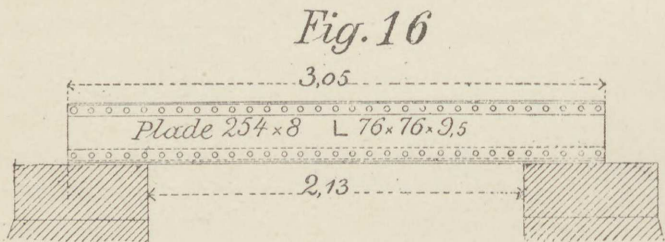
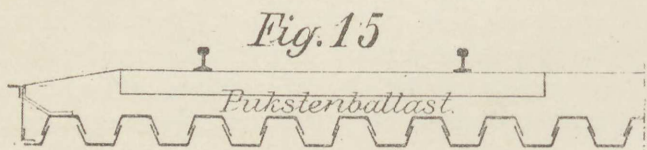
stivninger. De fuldt optrukne linier gjælder for det øvre system, de prikkede linier for det nedre system. Fig. 11 viser tværsnit i midten og ved oplage-

ret, og fig. 12 angiver konstruktionen af det faste oplager, der er dannet som et charnier. *a* er tværsnit, *b* oprids af lageret og *c* grundrids af den undre oplagersko. På undersiden af bæreren er ved hjælp af vinkeljern befæstet fire pladestykker, to i midten under vertikalpladen og et ved hver yderkant af gurtflænsen. Den undre oplagersko er på lignende måde dannet af plader og vinkeljern. Kun de yderste plader griber helt om charnierbolten, medens de øvrige griber om lidt mindre end boltens halve omkreds. Broen kan altså dreie sig om boltens, så meget som behøves. Oplagerreaktionen overføres til den største del gennem den midterste væg. Sidepladerne forhindre en tvær-forskyvning og opløftning af broen for det tilfælde, at friktionen og vægten ikke skulde være tilstrækkelige. For at fordele trykket mere jævnt over bundpladen og for at afstive væggene af oplagerskoen indbyrdes er disse forbundne med små plade- og vinkeljernstykker. Bundpladen er befæstet til landkarret ved hjælp 4 stenbolte af 32 mm. diameter, der er anbragte i de med sort udfyldte huller i grundridset, fig. 12 c.

Ved det bevægelige oplager er anordningen af charnierbolten som nu beskrevet; men den undre sko hviler på det i fig. 13 viste rullelager. Rullerne er fuldt cylindriske, og en sideforskyvning forhindres ved små, til den øvre og nedre rulleplade fastklinkede vinkeljern. (Se sideridset i fig. 13). Befæstelsen til landkarret sker ved 4 stenbolte af 32 mm. diameter, der går gennem de under og over rullerne værende plader. (Se fig. 8 og 11). I den øvre plade er hullerne aflange, så at en forskyvning i broens længderetning kan finde sted.

Charnierboltene og rullerne er af stål, alle øvrige dele af svejsjern. Naglerne har en diameter af 22 mm., og alle vinkeljern, der afstiver hovedbærernes vertikalplader, er tildannede så, at de passer nøjagtig til gurtflænsene.

De i textfig. 3—7, side 12 og 13, anførte konstruktioner af ballast-

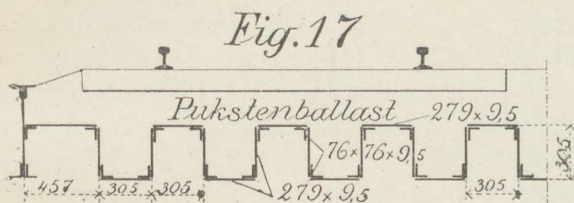


bærere anvendes ved små spændvidder iblandt også som brodragere.

Textfigur 15 viser det halve træsnit og textfig. 16 opridset af en liden sådan bro fra New-York Central & Hudson River jernbanen. Da den frie spændvidde blot er 2,13 m., kunde den af skjævvinklede

—jern sammensatte konstruktion anvendes. Ved den bro, hvis halve

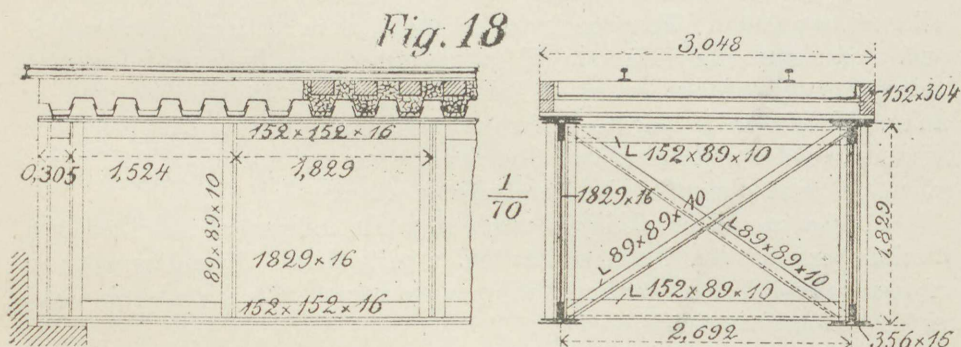
tværsnit textfig. 17 viser, er den frie spændvidde ca. 6,5 m., så man måtte her anvende den stærkere, af vinkeljern og plader sammensatte konstruk-



tion I begge tilfælde tjener de på siderne anbragte pladebærere kun til at begrænse ballasten.

Textfig. 18 viser tværsnittet og endel af op-
ridset af en pladebro med ballastbærerne lagte

tværsover broen på hovedbærerne. Til siderne er ballasten begrænset af 30 x 15 cm. bjælker, der er udskårne så, at de passer til konturerne af



ballastbærerne. Mellem de laveste partier af disse og bjælkernes underkanter er der et mellemrum af 38 mm., så at vandet får frit afløb til siderne. Broen har en længde af 18,3 m. og er bygget ved Union Bridge Co.

Bulkebroerne — „the trestles“ — er komne til udførelse også i jern. Den hele længde, der skal overspændes, inddeles i mindre spænd, og mellem hvert sådant anbringes jernsoiler som støtter for bærerne. Jernsoilerne afstives to og to i længde- og tværretningen, så de danner en tårnpillar. På grund af længdeforandringerne ved temperaturvexlinger går det ikke an at forbinde flere end to soiler indbyrdes.

Som regel gjælder, at tårnpillarerne i og for sig skal kunne modstå de indvirkende kræfter uden hjælp af hovedbærerne. Deres afstivning dannes af fastklinkede vinkel- og fladjern eller af horisontale façonjern og justerbare diagonaler af rund- eller firkantjern. I sidste tilfælde sker forbindelsen med soilerne ved bolte på samme måde som ved fakværkerne. (Se længere frem).

Ved høje bulkebroer er afstanden mellem de til en tårnpillar hørende soiler for det meste ca. 10 m., afstanden mellem de enkelte tårnpillar ca. 20 m., så at den egentlige brodrager består af bærere af afvekslende 10 og 20 m. længde omtrent. Som bærere anvendes vanligen pladebærere. Før anvendtes ikke sjelden — rigtignok for korte spænd — armerede bjælker, men man har nu forladt denne anordning.

Bl. IX, fig. 1 og 2 viser oprids og tværsnit af den østre opkjørsel til broen over Missouri ved Plattsmouth på Chicago, Burlington & Quincy jernbanen. Opkjørselen består af ialt 46 sådanne spænd, som fig. viser. Søilerne har s. k. kassetværsnit og består af 2 -jern med en dæklade på den ydre side. På den indre side er -jernenes flænses forgitrede. I tværretningen er søilerne afstivede med horisontale -jern og diagonale rundjernsstænger, som fig. 2 viser. I længderetningen er søilerne parvis forbundne med diagonaler af rundjern og horisontale, i den halve højde anbragte -jern. Disse sidste tjener til at formindske søilernes knækningslængde. De er nemlig i midten forbundne med diagonalerne og således fastholdte. Forbindelsen mellem de enkelte dele sker formedelst bolte, og alle rundjernsstænger er justerbare.

De over et sådant søilepar anbragte pladebærere er fastboltede til søilernes topplader. Bærerne over de andre, ikke afstivede åbninger er også med skruebolte befæstede til toppladerne; men hullerne i bærernes undergarter er aflange, så at en liden bevægelse i længderetningen er mulig. Videre er de enkelte bærere over søilerne forbundne med vertikale skjødplader, der er klinkede til den faste bærer og boltede til den bevægelige. I dennes vertikalplade er hullerne aflange.

I hvert spænd er pladebjælkerne afstivede indbyrdes med 4 rammer af vinkeljern af den i tværsnittet fig. 2 viste form. Vinddiagonaler er anbragte såvel i den øvre som i den nedre gurt og befæstede på den i textfig. 13 angivne måde.

Broen er af svejsjern og veier ialt 826 kg. pr. l. m. eller 55,5 kg. pr. m.² opridsflade. Til grund for beregningen er lagt en bevægelig belastning af 4,96 t. pr. l. m.

Et videre eksempel på bukkebroer er den på bl. IX i fig. 3—19 fremstillede „Granite-Viaduct“ på Northern Pacificbanen. Fig. 3 viser oprids og fig. 4 grundrids af den østlige del af samme. Broen er 356,3 m. lang fra landkar til landkar, og denne længde er inddelt i spænd af afvejlende 9,499 og 18,592 m. længde. Kun ved enderne er spændvidderne lidt anderledes. Hver søile hviler på et særskilt på fjeld muret stenfundament og er befæstet med 2 ankerbolte, hvis diameter varierer efter anstrængelsen fra 32 til 48 mm. Søilernes basis følger nogenlunde terrainets form, så at i flere pillarer er de nederste felter skjæve både i længde- og tverretningen. Den første og den sidste pillar er charnier-pillarer, medens alle de øvrige er tårnpillarer. I disse sidste er den ene søile fast til fundamentet. For de 3 andre søilers vedkommende er hullerne for ankerboltene aflange, så at ved temperaturforandringer en bevægelse er mulig i de af pilene i grundridset fig. 4 angivne retninger. For at fordele trykket jævnt er der overalt mellem søilernes fodplader og stenen lagt blyplader af 6 mm. tykkelse.

De korte bærere over tårnpillarerne er faste til søilerne. Bærerne over mellemåbningerne er faste i den høire ende, medens den venstre er anordnet som et glidelager. Videre er overgarterne af to sammenstødende

bærere forbundne med en pålagt horisontal plade, som, hvor bærerenden er fast, er klinket til denne. Hvor bærerenden er bevægelig, sker forbindelsen formedelst skruebolte i aflange huller. Mellemrummet mellem de enkelte, sammenstødende hovedbærere er ved normal temperatur 50 mm. De korte bærere er 1,219 m. høje; ved de lange er høiden = 1,829 m.

Fig. 5 viser charnierpillaren I, seet i broens tværretning. Fig. 6 er detalj af det øvre charnier — knudepunktet A —, fig. 7 oplageret for bæreren, fig. 8 det nedre charnier — knudepunktet B —, og fig. 9 er grundrids af fodpladen til det nedre charnier. Fig. 10 viser knudepunktet C, hvor diagonalerne krydser hinanden.

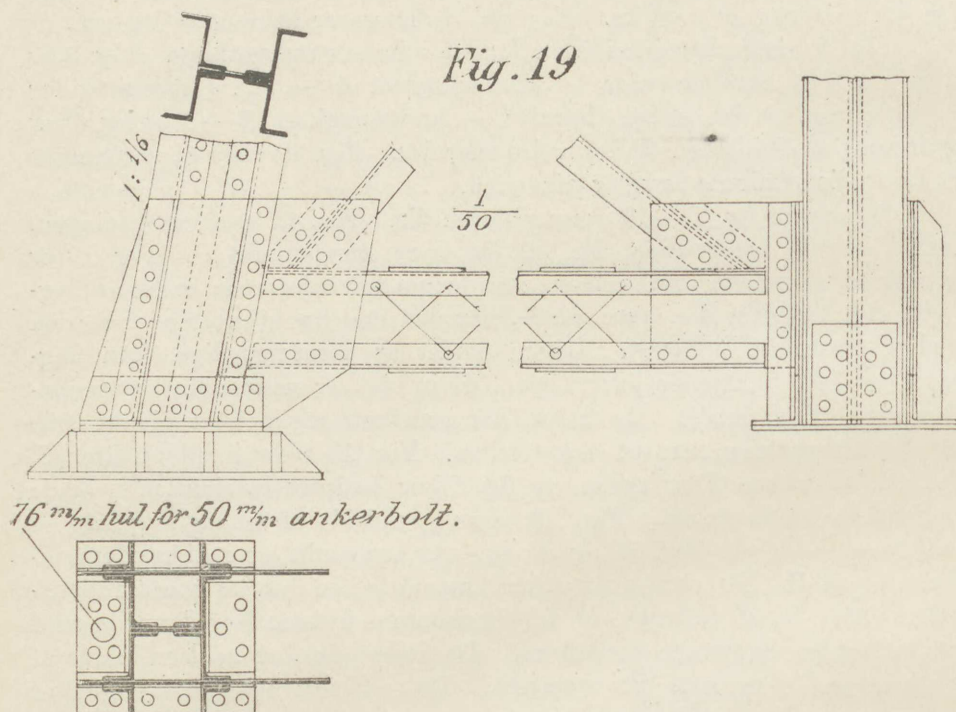
De øvrige fig. 11—19 viser pillaren VI. Fig. 11 viser anordningen, seet i broens tværretning, fig. 12 det øvre knudepunkt D. Fig. 13 er grundrids af søilens øvre plade, når begge hovedbærerne er fast oplagrede, fig. 14 viser den øvre plade, når den ene hovedbærer er fast, den anden bevægelig oplagret. Begge plader er forøvrigt lige, kun naglerne er lidt forskjellig anordnede. Hvor det er nødvendigt, er naglehovederne forsænkede. De flader, der overfører trykket, er planhøvede såvel på toppladen som på selve søilen. Fig. 15 viser knudepunktet E, fig. 16 fodpunktet F af søilen, og fig. 17 er horisontalprojektion af de horisontale afstivninger. Fig. 18 viser grundrids af søilens fodplade — snit g — h —. Fig. 19 og 20 angiver konstruktionen af knudepunkterne G og H. De øvrige fig. viser tværsnit af de enkelte konstruktionsdele. Som heraf fremgår, er alle horisontale forbindelser dannede af 4 på alle sider forgitrede vinkeljern. De diagonale forbindelser består af 2 vinkeljern, forgitrede på oversiden. De med sort betegnede nagler er sådanne, der slås ved monteringen.

Broen byggedes 1891--92, og materialet er svejsjern. Den til grund for beregningen lagte belastning er 2 lokomotiver à 105 t. vægt. Konstruktionen veier 2166 kg. pr. løbende m. og 91,8 kg. pr. m.² opridsflade.

Ved de nu anførte bukkebroer har søilerne s. k. kassetværsnit. En anden tværsnitsform, der ofte anvendes for søiler, er **H**-formen, sammensat af fire **L**-jern og plader. Ved de amerikanske **L**-jern-profiler er flænsene forholdsvis brede, så man har god plads for nagler. Foruden at være let tilgængelig for inspektion og maling har denne tværsnitsform også den fordel, at materialet er heldig fordelt. Træghedsmomentet er i alle retninger stort, så den egner sig meget godt til for tryk udsatte konstruktionsdele.

Textfig. 19 viser den anordning af søilerne til bukkebroer, som nu anvendes ved Chicago, Milwaukee & St. Paul jernbanen. Fig. angiver konstruktionen af søilens fond; men de øvrige knudepunkter er anordnede efter samme princip. De horisontale afstivninger består af 4 vinkeljern, der er forgitrede på alle sider. Diagonalerne udgøres af to vinkeljern, som på oversiden er forbundne med pladestykker i ca. 1,2 m. afstand. Søilen hviler ved hjælp af en underlagsplade af støbejern på fundamentet. Afstanden mellem de søiler, der danner en tårnpillar, er i broens længde-

retning = 9,6 m. Hvad bærerkonstruktionen angår, så er de over tårn-pillarerne lagte pladebærere fastnaglede til søilernes topplader, medens de over mellemåbningerne er faste i den ene ende; den anden ende er be-



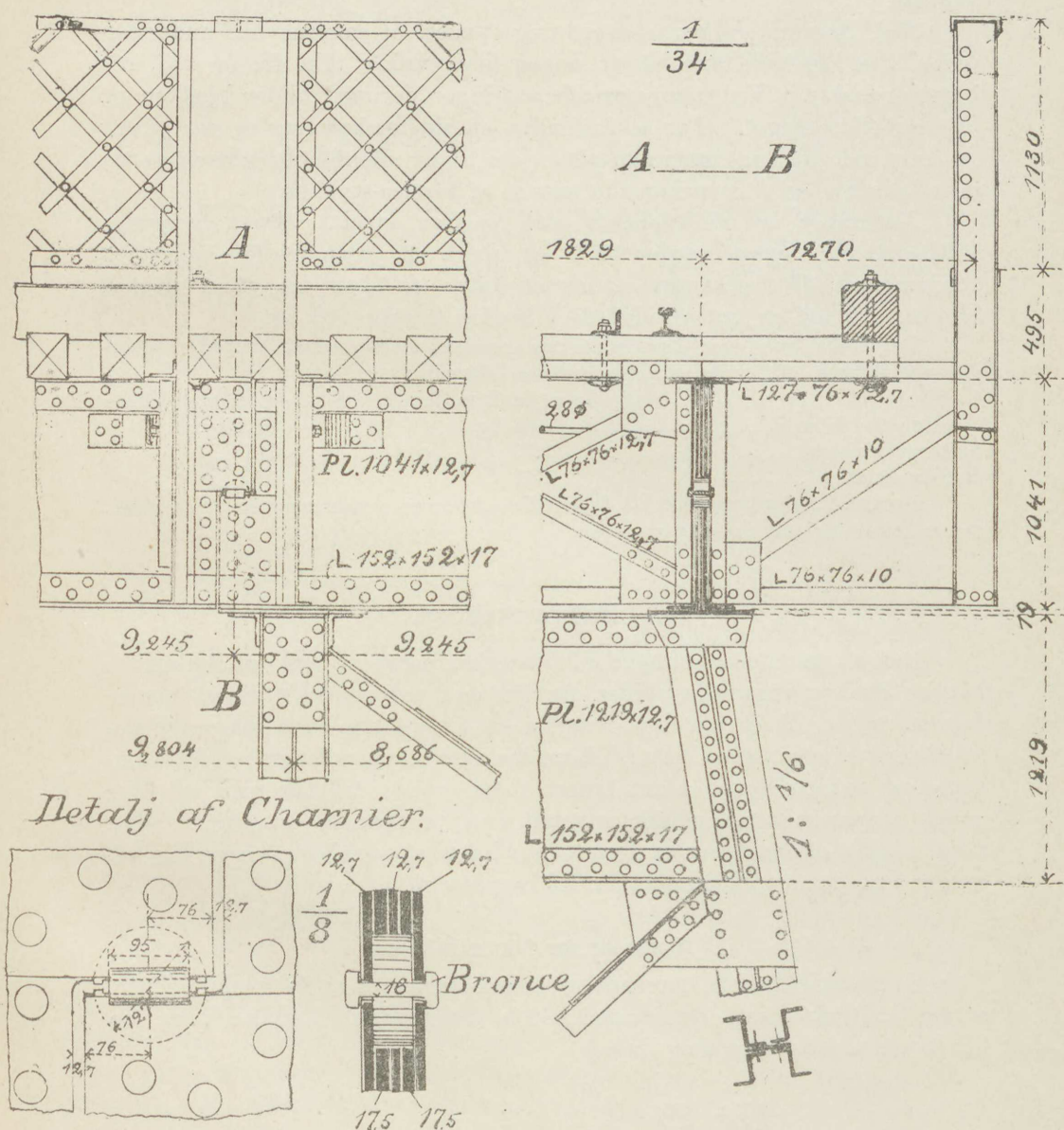
fæstet med skruebolte i aflange huller, så at en forskyvning i længderetningen kan finde sted.

Ved den s. k. Bellefontaine-bro, der fører St. Louis, Keokuk & Northwestern jernbanen over Missouri, er den nordlige del, der danner opkjørselen til hovedbroen over floden, anordnet som en bukkebro. Textfig. 20 viser den interessanteste del ved denne, nemlig forbindelsen mellem de enkelte hovedbærere. Bukkebroen har ialt 28 spænd af afvejlende 8,686 og 9,804 m. længde. Under de korte spænd er anordnet tårn-pillarer, der har en højde fra 12,5 til 13,7 m. De er efter høiden delte i 2 etager, og hver etage er afstivet i horisontal og diagonal retning. Søilerne er sammensatte af en plade og fire L -jern. De horisontale afstivninger består af 2 vertikalt stillede L -jern, der er forgitrede på over- og undersiden. De diagonale afstivninger udgøres af 2, på oversiden forgitrede vinkeljern. Alle afstivninger er fastklinkede til knudeplader.

Broen fører 2 spor og har fire 1,041 m. høje hovedbærere, der er placerede i 1,829 m. indbyrdes afstand. De to yderste hovedbærere er anbragte direkte over søilerne og bæres af disse; de to mellemhovedbærere hviler på en pladebærer, der i tværretningen forbinder søilernes øvre ender. Som fig. 20 viser, er hovedbærerne egentlig charnierbærere. Hoved-

bjælkerne over de korte spænd er fastklinkede til søilerne eller tværbærerne og rage lidt ud over understøttelsepunkterne. Et kort stykke af vertikalpladen er fjernet til den halve højde, og her er charnieret anbragt.

Fig. 20



De ophængte bjælker har en tilsvarende form. Charnieret består — som detaljfig. viser — af to halvcylindriske stålskiver, mellem hvilke der er anbragt et mellemstykke af bronze. For at få tilstrækkelig bredde til

til overføring af oplagerreaktionen er der på hver side af den 12,7 mm. tykke vertikalplade fastklinket 17,5 mm. stærke påforingsplader, så at tykkelsen af væggen og charnierskiven ialt blir = 47,7 mm. Så som dimensionerne her er valgte, er alle hovedbærere ganske lige hverandre. De ophængte bærere befinde sig kun i omvendt stilling i forhold til de fastnaglede.

Ved den nu beskrevne anordning opnåes, at bærerne blir understøttede i den neutrale axe, så at nogen forskyvning ikke finder sted, når broen belastes. Ved temperaturforandringer derimod glider bjælken på broncelemlemlægget. For at forhindre en sideforskyvning er der yderst på hver side anbragt endnu en plade, der ligger udenfor charnier-skiverne men indenfor de fremspringende kanter af bronce-stykket.

Materialet er middelshårdt stål (medium steel). Broen byggedes 1892—94, og vægten udgjør 3210 kg. pr. l. m. Den midlere højde fra fundamentet til overkanten af hovedbærerne er 14,526 m., så at vægten blir ca. 220 kg. pr. m² opridsflade eller for et spor 110 kg.

De norske broer, som disse bukkebroer nærmest må sammenstilles med, er charnier-viadukterne. Til sammenligning anføres følgende data:

	Vægt pr. l. m. bro	Vægt pr. m ² opridsflade
Lysedalsviadukten	1402 kg.	67,2 kg.
Solbergviadukten	1630 "	77,5 "
Håbølviadukten	1551 "	77,7 "

Herved må dog bemærkes, at de amerikanske broer er konstruerede for en meget større belastning end de anførte norske.

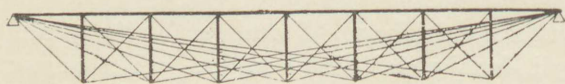
III. Fakværksbroer.

Det er især i anordningen af fakværksbroerne af jern, at den amerikanske brobygningsmåde skiller sig fra den europæiske. Hvad bærerformen angår, så er det hovedsagelig de forskellige anordninger af parallelbæreren, som der er i brug. Krumme eller polygonale gurter forekommer kun enkeltvis ved ældre broer; i den nyere tid har man vel flere gange for store spændvidder anvendt den polygonale gurtform. Men antallet af sådanne broer er forholdsvis lidet, så parallelbæreren dog må ansees som den typiske amerikanske bærerform.

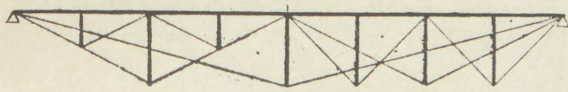
1. Systemer for fakværksbroer.

De forskellige til anvendelse komne systemer er følgende. (I fig. er de for tryk udsatte konstruktionsdele betegnede med tykke linier, de for stræk udsatte med fine linier.)

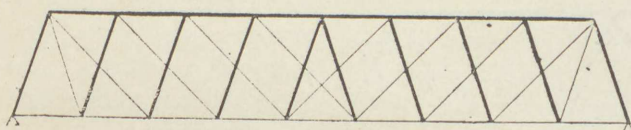
Fig. 21



1. System Bollman,
fig. 21.

Fig. 22

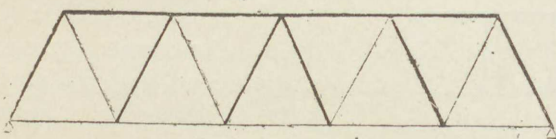
2. *System Fink*, fig. 22.
I den venstre og høire del af fig. er vist lidt forskellige anordninger. Begge disse systemer kan ansees som en udvikling af den armerede bjælke.

Fig. 23

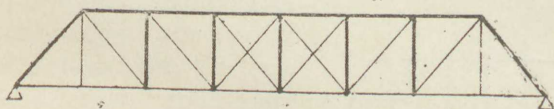
3. *System Post*, fig. 23. Dette system er dobbelt, og strækdiagonalerne danner en vinkel af omtrent 45° med gurterne.

Trykstræverne er skråtstillede, og deres øvre endepunkter ligger i vertikalen gennem midten af de tilgrænsende undergurts-felter. Bærerens høide er 1,5 gange feltlængden. Meningen med denne anordning var at opnå materialbesparelse.

Disse 3 systemer er forældede og anvendes nu ikke mere.

Fig. 24

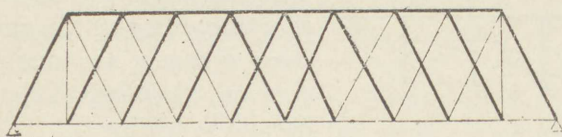
4. *System Warren*, (Triangel-systemet) fig. 24.

Fig. 25

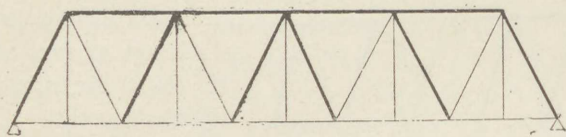
5. *System Pratt*, fig. 25. Dette system anvendes meget. Moddiagonalerne i midten anordnes justerbare, så de kan strammes. Men herved blir systemet strængt taget statisk ubestemt, idet

der ved stramningen af moddiagonalerne kommer til ubekjendte kræfter, hvis størrelse er afhængig af arbeideren. I den senere tid har derfor en del ingeniører ganske sløfet moddiagonalerne og gjort hoveddiagonalerne i de midterste felter så, at de kan modstå såvel stræk som tryk.

Ved store spændvidder blir felterne lange, og de sekundære langbærere derfor svære og tunge. For at råde bod på denne ulempe anvendes i sådanne tilfælde følgende systemer, ved hvilke der i det oprindelige fakværk er lagt ind et videre system af strævere eller sekundære knudepunkter.

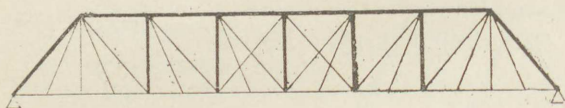
Fig. 26

6. Dobbelt System Warren, fig. 26.

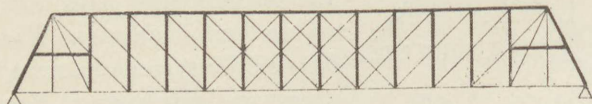
Fig. 27

7. System Warren med hjælpevertikaler, fig. 27. I midten af felterne af den direkte belastede gurt anbringes tværbærere, hvis last ved vertikaler overføres til den anden gurts knudepunkter.

Ved system Pratt er følgende modifikationer komne til udførelse.

Fig. 28

8. System Kellog, fig. 28. Her går fra midten af hvert undergurtsfelt en extra strækdiagonal til det øvre knudepunkt, hvorved tværbærerens last overføres til dette. Meningen er med minimum af material at få korte feltlængder. Dette system anvendes ikke mere nu for tiden.

Fig. 29

9. System Whipple (dobbelt system Pratt), fig. 29. Dette system har lige til den sidste tid været meget anvendt for store spændvidder. Men alle sammensatte systemer har som bekendt

den ulempe, at de i grunden er statisk ubestemte, idet man ikke kan gjøre regning på, at lasten fordeler sig i lige grad på de forskellige systemer, så som det ved beregningen vanligen forudsættes. I Amerika går tendensen nu derhen at anordne fækværkerne så, at anstrængelsen i de enkelte dele kan bestemmes med den største grad af nøiagtighed. Dette er årsagen til, at system Whipple i den sidste tid er bleven anvendt i ringere grad end før, og at man er gået over til

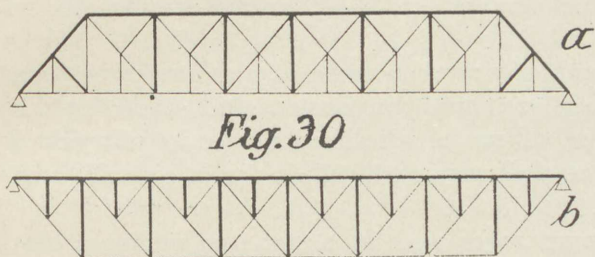
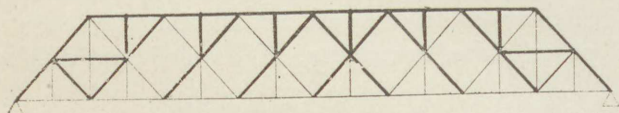


Fig. 30

det betræffende felt. Dette sidste knudepunkt holdes fast af en sekundær diagonal, hvorved lasten overføres til hovedsystemet uden at anstrænge dets diagonaler på bøining. Systemet er statisk bestemt.

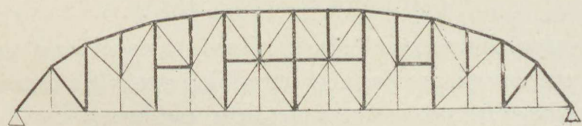
Ideen kan anvendes på flere måder. Fig. 30 a viser anordningen, når hovedsystemet er en Pratt's bærer med brobanen nedentil; fig. 30 b viser anordningen for et lignende hovedsystem, men med brobanen oventil.

Fig. 31



til afstivning af overgurten og til anbringelse af en øvre tværafstivning og må derfor anordnes som trykkede konstruktionsdele.

Fig. 32



moddiagonaler er nødvendige, er gurterne parallelle. Forøvrigt er overgurtens krumning så, at diagonalerne aldrig udsættes for tryk. Den største anstrængelse i gurterne varierer her ikke så meget som ved parallelbæreren. Ved den i fig. viste bærer er idéen for Baltimore-bæreren anvendt. De fra diagonalernes sekundære knudepunkter udgående horisontale og vertikale stænger er for afstivningens skyld.

Brodragernes høide i forhold til længden er ved amerikanske broer i almindelighed større end ved de europæiske. De amerikanske ingeniører undgår så meget som muligt s. k. åbne broer, d. v. s. broer uden tværforbundelse oventil. Såfremt det er muligt, gjøres brodragerne så høie,

10. *Baltimore-systemet (Sub Pratt)*. Ideen med dette er den, at der i midten af felterne af den direkte belastede gurt anbringes tværbærere, hvis last optages af vertikaler, der går til midten af diagonalen i

Fig. 31 viser ideen anvendt på en Warren bærer med dobbelt stræversystem. Vertikalerne ovenfor strævernes krydsningspunkter tjener

Figur 32 viser det system, der som før nævnt i den senere tid er kommen til anvendelse for store spændvidder. Det ligger meget nær Schwedler-bæreren. I den midterste del, hvor

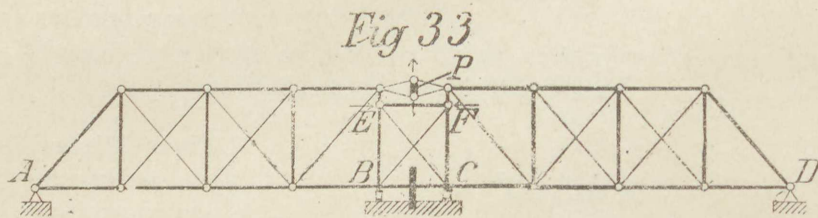
at der mellem overgurterne kan anbringes et horisontalforband. Forholdet $\frac{h}{l}$, der ved europæiske broer vanligen er $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{8}$, er ved amerikanske fra $\frac{1}{8}$ til $\frac{1}{4}$ omtrent.

En videre sag, der karakteriserer de amerikanske fakværksbroer med brobanen nedentil, er den, at endestræverne næsten altid er skrå og ikke vertikale som så ofte hos os. I en del specifikationer er det udtrykkelig fremhævet, at endestræverne skal være skråtstillede for at give alle broer et mere ensartet udseende.

Lange, trykkede stænger søger man så meget som muligt at fastholde og afstive i alle retninger for at reducere knækningslængden.

Sammenligner man de nyeste amerikanske broer med dem af noget ældre datum, så synes bestræbelserne nu at gå ud på at anvende få og store felter og at gjøre liniesystemet så enkelt som muligt for at kunne bestemme anstrængelserne i de enkelte konstruktionsdele med den største grad af sikkerhed. Feltlængden er i almindelighed større end i Europa og kan gå op til 17 m. Ved middelstore feltlængder anvendes for det meste det enkle system Pratt; ved store feltlængder bruges Baltimore-systemet.

Den kontinuerlige bærer anvendes i Amerika kun i sådanne tilfælde, hvor den er nødvendig, f. ex. ved svingbroer. Men selv ved sådanne konstruktioner har man i den nyeste tid undgået den kontinuerlige bærer. Fig. 33. viser et eksempel på en sådan anordning. I de med små cirkler



markerede knudepunkter er der charnierer (bolte). Over svingpillaren er i overgurten anbragt et af strækstænger dannet parallelogram. Er broen lukket, er stængerne i parallelogrammet uden spænding, og broen består da af to enkle fakværksbjælker, understøttede i punkterne A, B og C, D. Skal broen åbnes, så bringes de midterste hjørner af parallelogrammet til at fjærne sig fra hinanden ved hjælp af en liden hydraulisk presse P, enderne A og D løfter sig fra oplagerne, og broen kan svinges. I punkterne E og F er boltehullerne aflange, så at den ringe forskyvning, der må til, kan finde sted.

I andre tilfælde, hvor den kontinuerlige bærer kunde være berettiget — f. ex. hvor monteringen er vanskelig — anvendes cantileverbæreren (charnier-bæreren).

2. Detaljkonstruktionerne.

Ved fakværksbroer fra 20 op til 30—35 m. spændvidde omtrent anvendes i Amerika i regelen nagleforbindelser i knudepunkterne. Konstruktionen er da den samme som ved europæiske broer. Men fra 30—35 m. spændvidde og opover blir anordningen og konstruktionen af detaljerne en helt anden, idet bolteforbindelser næsten udelukkende anvendes, i alle fald for hoveddelene. Dette har nu videre indflydelse på konstruktionsdelenes form og tværsnit. Disse detaljkonstruktioner skal nu nærmere omtales.

a. Boltene.

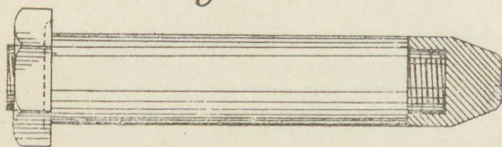
Disse gjordes før af sveisjern; men i den nyere tid anvendes udelukkende stål. De må dreies meget nøiagtigt.



Bolte af små dimensioner får vanligen den form, fig. 34 viser, med boltehoved i den ene ende og møtrik i den anden. De stænger, der skal forbindes, stikkes på bolten, møtrikken skrues til, og forbindelsen er færdig.

For bolte af middelstore dimensioner viser fig. 35 den vanlige form. Begge ender er afdreiede, så diameteren her er 0,7—0,8 af den egentlige bolts diameter. For at holde de på bolten anbragte stænger sammen, på-

Fig. 35



skrues på enderne lave møtrikker, der på den indre side er lidt hule, så de ligger an mod stængerne og ikke mod bolten, selv om denne skulde være lidt for lang. (Se den venstre del af fig. 35.) For ved transporten og monteringen at beskytte

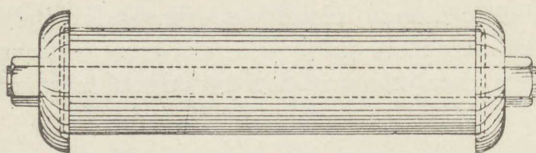
gjængerne påskrues en hylse (pilot nut), som vist i den høire del af fig. 35. — Denne anordning anvendes ved bolte af op til ca. 150 mm. diameter. Råmaterialet til dem fremstilles vanligen i valser.

Blir diameteren større, så viser erfaringen, at man ikke kan gjøre regning på, at valserne fjærner de blærer og utætheder, der findes i råmaterialet, så som det kommer fra jernværket. I denne henseende virker smedning eller presning meget fuldkomnere. Det er derfor nu vanligt, at råmaterialet til store bolte forlanges fremstillet ved hamring eller presning. For yderligere at overbevise sig om materialets feilfrihed pleier man at gjennembore bolten langs efter axen.

Af disse grunde får store bolte den form, fig. 36 viser; for at holde stængerne på bolten anbringes ved begge ender runde skiver, der ligesom møtrikerne ved den forrige anordning er lidt hule på den indre side. Skiverne holdes fast ved hjælp af en gennemgående bolt med møtriker i begge ender.

Møtriker og skiver gjøres af aduceret støbejern. Boltene anvendes med en diameter fra 37 til 355 mm. omtrent, ofte med variationer fra 3 til 3 mm. ($\frac{1}{8}$ "). For vanlige spændvidder holder diameteren sig mellem 100 og 150 mm.

Fig. 36

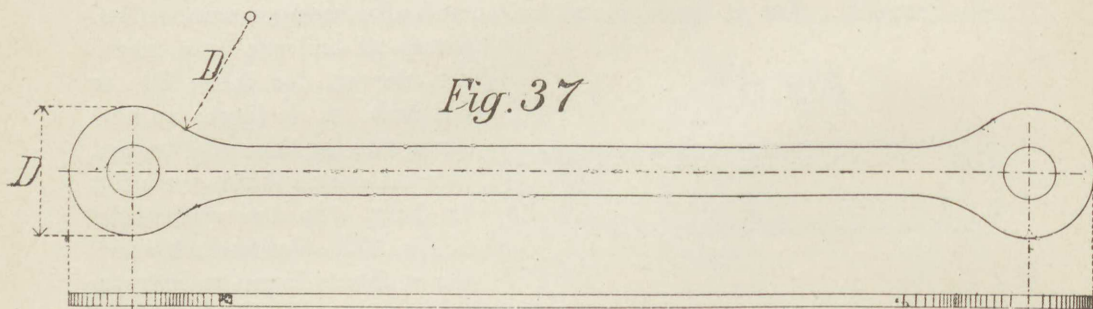


I en bro får boltene så meget som muligt ens diameter. De i enderne af gurterne er vanligen størst, og i de mellemliggende

knudepunkter er diameteren i regelen den samme. Jo mindre bolt diameteren er, desto fordelagtigere er anordningen. En hensigtsmæssig gruppering af de på en bolt angribende stænger spiller derfor en stor rolle.

b. Strækstænger.

Til hoveddiagonaler, undergurtsstænger og lign., i hvilke strækkræften er stor, anvendes næsten altid s. k. „øiestænger“ (eye bars) af den i fig. 37 viste form. Der har været eksperimenteret meget for at finde den



bedste form for hovedet. Dette må nemlig være mindst lige så stærkt som stangen selv, men bør for materialbesparelsens skyld heller ikke være overdrevent stærkt. Videre bør fabrikationen ikke være forbunden med vanskeligheder. Før, da materialet var svejsjern, var hovedets form i regelen langagtig, idet der bagenfor bolten var mere material end på siderne. Nu, da stål næsten udelukkende anvendes, gjøres hovedet cirkelformig, som fig. viser. Tværsover øiet er tværsnittet 30—50 % større end selve stangens tværsnit. Forøgelsen er afhængig af den mere eller mindre fuldkomne måde, hvorpå hovedet dannes. Tykkelsen af hovedet er vanligen den samme som stangens, sjelden lidt større.

Nogen bestemt fabrikationsmethode for øiestængerne foreskrives ikke. Man forlanger blot, at stangen over øiet skal være mindst lige så stærk som i den øvrige del. Hvad arbeidets nøiagtighed angår, så bestemmer

nogle specifikationer, at feilen i afstanden fra centrum til centrum af øiehullerne ikke må overskride 0,79 mm. ($\frac{1}{32}$ "). Andre forlanger en nøjagtighed af $\frac{1}{20000}$ af længden, hvilket modsvarer en spændingsforskjel af 100 kg. pr. cm.². Videre skal spillerummet mellem bolten og øiehullet ikke være større end 0,5 mm. ($\frac{1}{50}$ "). En del ingeniører tillader dog dette spillerum at gå op til 0,79 mm. ($\frac{1}{32}$ "), når bolt diameteren er over 90—115 mm.

Til stænger, såsom moddiagonaler, vinddiagonaler og lign., der har at optage forholdsvis små strækkrefter, anvendes i regelen rund- eller

firkantjern. Er stængerne af svejsjern, befæstes de til bolten ved hjælp af en sløife og får vanligen den form, fig. 38 viser. Disse sløifer dannes af kortere stænger, der bøies om en dor og sveises sammen. Sløife-enden sveises da siden til den

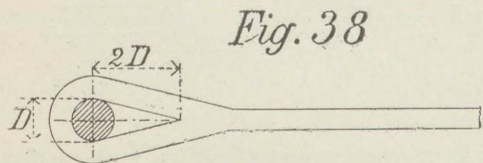


Fig. 38

egentlige stang. Det indre af sløifen udbores, så det passer til bolten. Undertiden — dog sjældnere — erstattes sløifen med en påsveiset plade, se fig. 60 og 61, side 55.

Skal to sådanne stænger centreres, — som f. ex. når to moddiagonaler befæstes til samme bolt — så smedes den ene stangs ende gaffelformig og forses med øie, som fig. 39 viser.

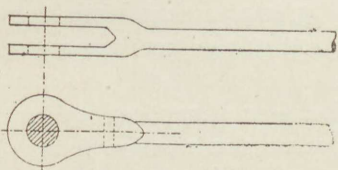


Fig. 39

Da det altid er vanskeligt at gøre sådanne stænger af exakt længde, forses de med en indretning for at regulere længden, så de passer ind i den øvrige konstruktion og kan strammes. Reguleringsretningerne udgøres vanligen af en høire- og venstre-

gjenget dobbeltmøtrik, der forener de to sammenhørende stængender. Disse dobbeltmøtriker er af forskellig konstruktion. Fig. 40 viser en åben sådan (turnbuckle), fig. 41 en lukket (sleeve nut). De sidste har den ulempe,

Fig. 40

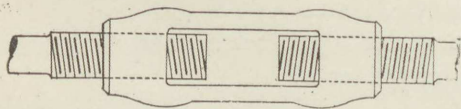
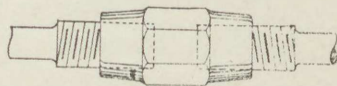


Fig. 41



at man ikke kan se, hvormeget skruen griber ind i møtriken, så kontrollen er vanskelig.

Den usikkerhed, der altid klæber ved de påsveisede sløifer, har ført til anvendelsen af korte, gaffelformige øiestykker, for at befæste stangen til bolten. Er stangen af stål (smeltetmetal), så må man gribe til sådanne anordninger, da dette material ikke godt kan sveises. De gaffelformige

øiestykker (clevises) har lidt forskjelligt udseende. Fig. 42 og 43 viser et par sorter. Afstanden a mellem sidestykkerne forandres efter behov.

Fig. 42

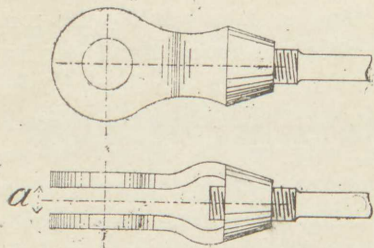
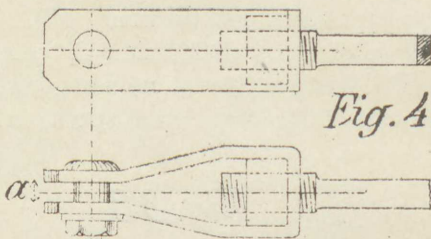


Fig. 43



Fremstillingen af disse smaastykker sker i specialfabriker. Arbeidet udføres i for øiemedet konstruerede maskiner — hydrauliske presser — og går meget raskt. Fabrikerne har på lager et tilstrækkeligt antal numre for alle i praktiken forekommende tilfælde.

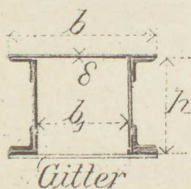
Ved alle stænger, der forbindes med motraker, stukes stangenden, så at skruens indre kjerne får et større tværsnitsareal end stangen selv. Forøgelsen er fra 17 til 35 % — i middeltal 22 %.

c. Trykstænger.

1. Trykgurter. Ved små spændvidder og naglede knudepunkter anvendes det også hos os vanlige af plader og vinkeljern sammensatte T-tværsnit.

Ved store spændvidder, når bolteforbindelser anvendes, bruges det s. k. kassetværsnit for trykgurter. Fig. 44 viser den vanlige form. De vertikale vægge gjøres også af L -jern, istedetfor som i fig. 44 at være sammensatte af plader og vinkeljern. Der anbringes selv ved store spænd blot én horisontalplade. Denne går fra yderkant til yderkant af flenserne og må være så bred, at der mellem de vertikale vægge blir plads til vertikaler og diagonaler. Du Bois bestemmer horisontalpladens mindste bredde af formelen:

Fig. 44



$$b = \frac{7}{8} h + 25 \text{ mm.}$$

Efter en anden praktisk regel bestemmes den største frie bredde b , af sådanne trykkede gurtplader af

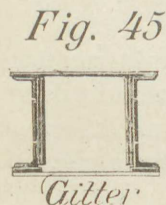
$$b_1 = 40 \delta$$

hvor δ er pladens tykkelse, der varierer fra 6 til 15 mm.

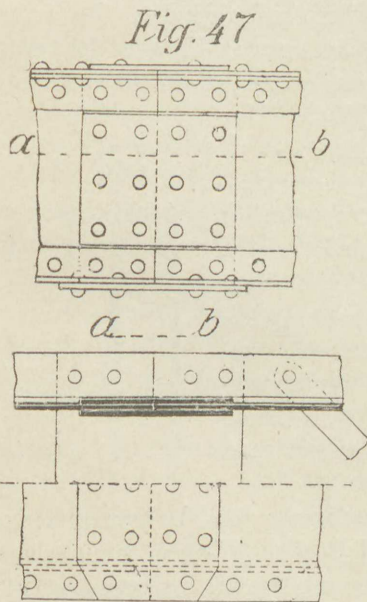
Omhyggelige konstruktører søger at afbalancere horisontalpladen ved fladjern, der er fastnaglede til den nedre flæns, som fig. 44 viser, for at tyngdepunktsaxen ikke skal komme saa langt fra midtlinien. Thi skal kraften fordeles jævnt over tværsnittet, så må bolten angribe i tyngdepunktsaxen. Er denne nær overkanten, kan det blive vanskeligt at få plads for vertikaler og diagonaler.

Den åbne side af tværsnittet afstives altid. Tæt ved knudepunkterne anbringes plader og den mellemliggende strækning forgitres. Pladerne får en længde = b til $1,5 b$ og en tykkelse = 6—10 mm. Forgitringen er enten enkelt eller dobbelt, beroende på flænsens bredde i forhold til hele tværsnittets bredde. Keystone Bridge Co. foreskriver som største afstand mellem naglerne i flænserne 8 gange flænsbredden, så herved er gitterstængernes mindste vinkel med gurtretningen bestemt. Gitterstængernes dimensioner er afhængige af gurtens dimensioner og ligger vanligen mellem grænserne 37×6 mm. ($1\frac{1}{2}'' \times \frac{1}{4}''$) og 102×13 mm. ($4'' \times \frac{1}{2}''$) med variationer af 6 mm. ($\frac{1}{4}''$) i bredden og 1,6 mm. ($\frac{1}{16}''$) i tykkelsen.

Som før nævnt anvendes blot én horisontalplade, og den største del af tværsnitarealet lægges i vertikalpladerne, hvilket er det rigtigste på grund af den måde, hvorpå kraftoverføringen sker i knudepunkterne. Skal tværsnitarealet gøres større, så sker dette tildels — dog ikke ofte — ved at forøge vertikalpladernes tykkelse og vinkeljernenes dimensioner. Som regel føies der flere vertikalplader til, medens horisontalpladen beholder samme dimensioner hele gurten igennem. Det første skridt er at



lægge sideplader mellem vinkeljernene udenpå de egentlige vertikalplader. Skal tværsnitsarealet være endnu større, så føies flere vertikalplader til, som fig 45 viser. Ved meget store tværsnit anordnes flere vertikalvægge — se fig. 46 —, hvorved tillige opnåes den fordel, at bolten blir understøttet på flere steder



og bøjningsspændingen i samme forminskes.

Trykgurterne skjødes tæt ved eller også i selve knudepunktet. Det første er det almindeligste. Alle dele skjødes i samme plan, de mod hinanden stødende flader bearbejdes exakt, så de ligger tæt an mod hinanden, og skjøden dækkes med lasker. Se fig. 47. Skjøddækningen er ofte meget svag, sammenlignet med de i Europa brugelige skjødkonstruktioner. Men de amerikanske ingeniører forlanger blot, at laskerne skal holde delene sammen, så de ikke forandrer sin indbyrdes stilling. Den egentlige kraftoverføring sker ved de hinanden berørende, exakt bearbejdede flader.

2. *Trykstrævere*. Disse sættes sammen af vinkeljern eller -jern. I første tilfælde er anordningen tildels

som fig. 48 viser; men som oftest placeres vinkeljernene som angivet i fig. 49. Anvendes **L**-jern, så blir tværsnittet som vist i fig. 50 a og b.

Fig. 48



Fig. 49

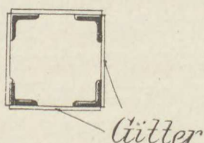


Fig. 50



Må tværsnitsarealet være temmelig stort, så dannes **L**-formen af en plade og to vinkeljern. Pladens frie bredde sættes da i maximum = 30 gange dens tykkelse. Flenserne på **L**-jernene vender udad eller indad, eftersom det passer bedst til den øvrige anordning.

Alle åbne sider af stræverne afstives. Så nær enderne som muligt anbringes fulde plader og i den mellemliggende del forgitring. For dimensioner af plader og gitterstænger gjælder, hvad som er anført for trykgurter.

For at kunne befæste stræverne til boltene i knudepunkterne fast-

klinkes plader, gennem hvilke boltene stikkes.

Fig. 51 viser enden af en stræver med tværsnit som i fig. 48. Pladerne må naturligvis være så stærke, at kraften kan overføres. Videre må trykket på boltehullets omkreds ikke være større, end at materialet kan udholde det. Er derfor en enkelt plade ikke nok, så klinkes flere sammen. Fig. 52 viser enden af en stræver med tværsnit som fig. 50 b. Her er **L**-jernets væg for tynd til alene at kunne optage kraften. Den er derfor forstærket med en pålagt plade, så at tykkelsen i boltehullet blir tilstrækkelig. Kommer **L**-jernes flenser i veien ved sammenføiningen i knudepunkterne, så skjæres de væk og erstattes om nødvendigt med påklinkede plader.

Fig. 51

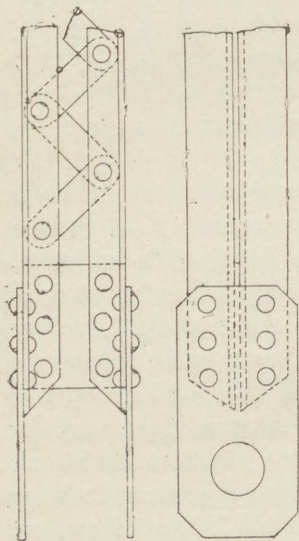
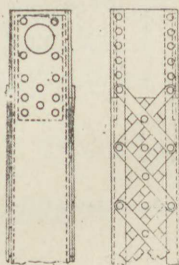


Fig. 52



Til søiler anvendes de samme tværsnitsformer som for trykgurter og trykstrævere, eller også bruges den af **I**-, **L**- eller **J**-jern sammensatte **H**-form, som ved bukkebroer anført. For anvendtes til trykstænger ofte lukkede tværsnitsformer, især den af kvadrantjern sammensatte cylinder — den s. k. Phoenix-søile. — Men nu er man kommen bort fra dette, og

i flere specifikationer er udtrykkelig sagt, at lukkede træsnitsformer ikke tillades. De har nemlig alle den ulempe, at man ikke kan komme til i det indre for at kontrollere tilstanden, fornye malingen o. s. v. Endskjønt de er meget gunstige hvad materialfordelingen angår, så er de nævnte ulemper dog så store, at man foretrækker en theoretisk mindre heldig tværsnitsform, der overalt og altid er tilgængelig.

d. Tvær- og langbærere.

Som tværbærere anvendes vanligen pladebærere. Deres høide retter sig efter omstændighederne og vexler fra $\frac{1}{3}$ til $\frac{1}{8}$ — i middeltal $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{6}$ — af længden.

Befæstelsen af tværbærerne til hovedbærerne sker på flere måder. Må brobanen anbringes så dybt som muligt for at få en øvre tværforbindelse mellem hovedbærerne, så hænges tværbærerne undertiden op i knudepunktsbolten ved hjælp af sløifer, som fig. 53 viser. Sløiferne — af firkant-

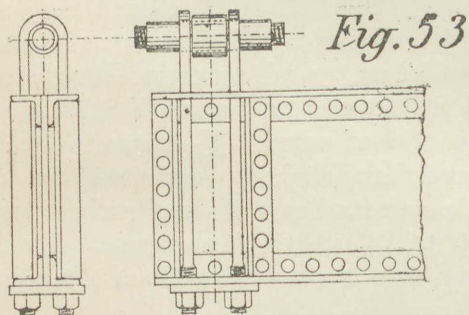


Fig. 53

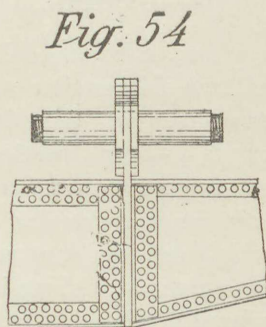


Fig. 54

jern — er enten én eller to og anbringes altid symmetrisk med hensyn til boltens midte.

Fig. 54 viser en anden anordning, anvendt ved en gadebro. Udenfor hovedbærerne er der trottoirer, der bæres af konsoler. Tværbærerne og konsolerne er fastklinkede til en plade, som er ophængt i bolten. For at formindske spændingen på boltehullets omkreds er ophængningspladen forstærket med et par mindre plader, fastnaglede en på hver side af samme. Brobanens afstivning i horisontal retning sker ved diagonaler, der er befæstede til enderne af tværbærerne.

Sådanne anordninger som de nu anførte har den fordel, at tværbærernes nedbøining under belastningen har liden eller ingen indflydelse på hovedbærerne. Men den horisontale afstivning er meget ufuldkommen, og hovedbærerne er så at sige ganske uden tværforbindelse nedentil. Skal en sådan bro kunne modstå større sidekræfter, så må der over brobanen anbringes en ordentlig tværafstivning, der må føres så langt ned som muligt.

Meget bedre er det at nagle tværbærerne fast til vertikalerne, og

denne anordning forekommer også mest. Fig. 55 viser en sådan konstruktion, hvor ligesom i foregående tilfælde tværbæreren er anbragt under den

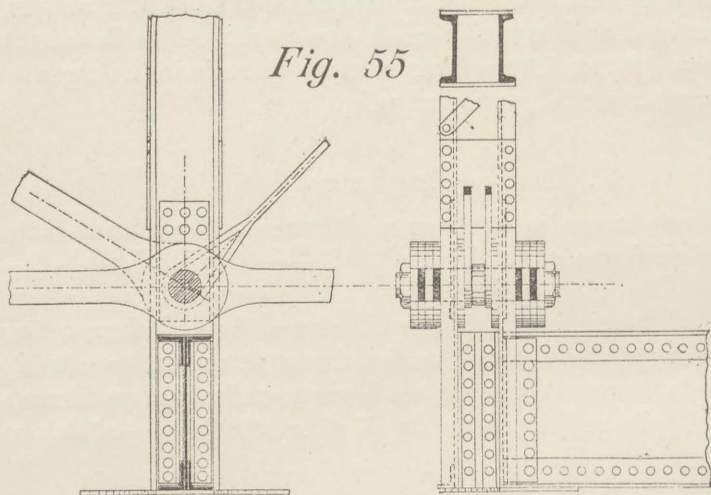


Fig. 55

nedre gurt. Vertikalen er forlænget nedover, og tværbæreren fastnaglet til samme.

Placeres tværbærerne på overgurt, så nagles de fast til gurtens horisontalplade og afstives vanligvis til siderne med skråstillede flad- eller vinkeljern.

Som sekundære langbærere ved jernbanebroer finder man undertiden ved små feltlængder anvendt langsviller af træ, der placeres direkte under skinnerne. Anordningen er da lig den ved træbroer. Ved feltlængder af 4—5 m. består langbærerne ofte af valsede **I**-bærere. Men da ved nyere konstruktioner feltlængden i almindelighed er større, må i regelen pladebærere anvendes. Disses højde er naturligvis afhængig af omstændighederne, og den varierer fra $\frac{1}{6}$ til $\frac{1}{12}$ af længden omtrent. De afstives næsten altid mod vind og horisontale kræfter ved hjælp af et specielt horisontalforband.

Langbærerne lægges enten på tværbærerne og afstives da til siderne, eller de anbringes mellem tværbærerne og befastes til disse med vinkeljern på vanlig måde. De amerikanske ingeniører lader dem da gjerne hvile enten på de nedre flånsere af tværbærerne eller på fastklinkede korte vinkeljernstykker, så at lasten overføres ikke af befæstelsesnaglerne alene.

e. Knudepunkter.

Sker forbindelsen i knudepunkterne ved hjælp af bolte, så er det let at samle alle sammentræffende stænger, såfremt de ligger i samme plan. Ligger de derimod i forskellige planer — som f. ex. hovedfakværket og vindfakværket —, så er det vanskeligt at få knudepunktsforbindelserne fuldkomne.

Ved ældre konstruktioner finder man i overgurts-knudepunkterne støbejernsklodse anbragt, mod hvilke de trykkede stænger — overgurt og vertikaler — støder stumpt an. En forskyvning af de enkelte dele forhindres ved fremspringende kanter på knudepunktsklodsene. Overgurtens består da af enkelte stykker mellem knudepunkterne. Denne meget ufuld-

komne anordning har man nu forladt. Overgurten gjøres altid kontinuerlig og uden afbrydelse ved knudepunkterne.

I det følgende skal fremføres en del knudepunktsanordninger fra forskellige nyere amerikanske broer.

Fig. 56

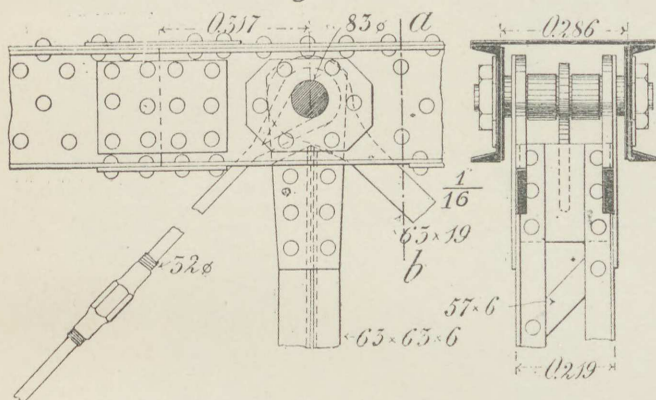


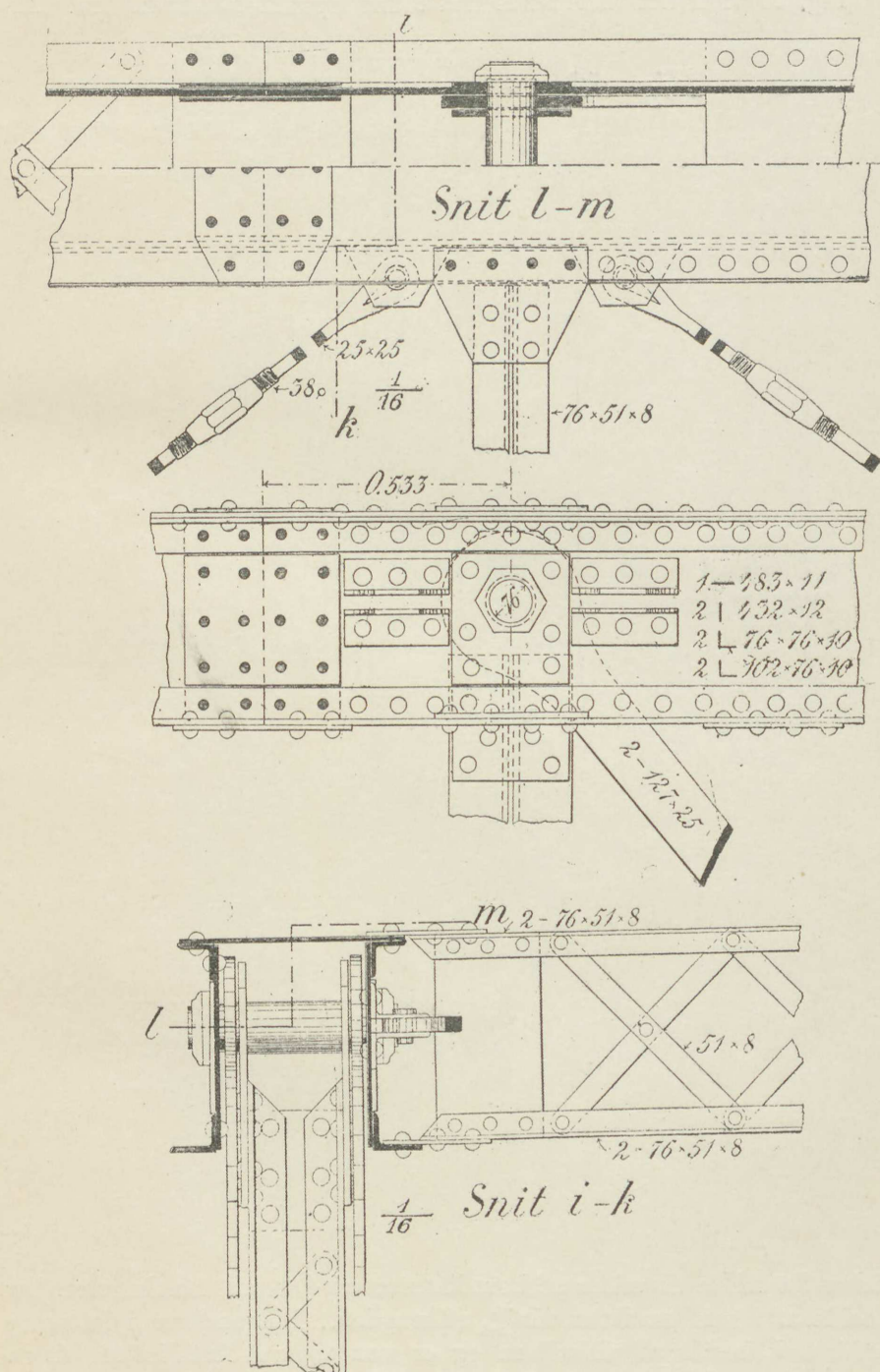
Fig. 56 viser det øvre knudepunkt af en gadebro over Providence & Worcester jernbanen i Massachusetts. Broen, som er bygget af Boston Bridge Works, har en spændvidde af 30 m., en bærerhøjde af 3,66 m., og denne ringe bærerhøjde

var årsagen til den forholdsvis sjelden forekommende anordning, at overgurten er uden afstivning. Brobanen består af planker på sekundære langbærere af træ. Fakværket hører til system Pratt. Overgurten udgjøres af 2 $\sqcap$ -jern af 294 mm. højde og en horisontalplade af 406×8 mm. I den midterste del er gurtens forstærket med på den indre side af $\sqcap$ -jernene lagte plader af 240×6 mm., som fig. viser. Lidt tilvenstre for knudepunktet er overgurten skjædt, og skjæden dækket med en plade på over- og undersiden og en plade på den ydre side af hvert $\sqcap$ -jern. For at trykket fra boltens på hullets omkreds ikke skal blive for stort, er vertikalvæggen i knudepunktet gjort tykkere ved en fastklignet plade af ottekantet form.

Fig. 57 viser det tilsvarende nedre knudepunkt af samme bro. Gitterværket mellem de vinkeljern, der danner vertikalen, er erstattet med en plade, og på den ene side er tværbæreren for kørebanen, på den anden side konsolen for trottoiret fastnaglet. Lasten overføres fra vertikalen på boltens ved ialt 4 plader, af hvilke de to yderste er ombøiede i form af vinkeljern, så at tværbæreren og konsolen hviler på dem. Diagonalerne i horisontalforbandet er befæstede til tværbæreren på den i fig. angivne måde ved hjælp af specielle støbejernssko, der danner underlaget for møtrikerne. En sådan sko er i fig. a vist i større målestok. Her er det altså ikke tale om centrering af vinddiagonalerne, og den komponent af vindkraften, der skal overføres til undergurten, anstrænger vertikalen på bøining.

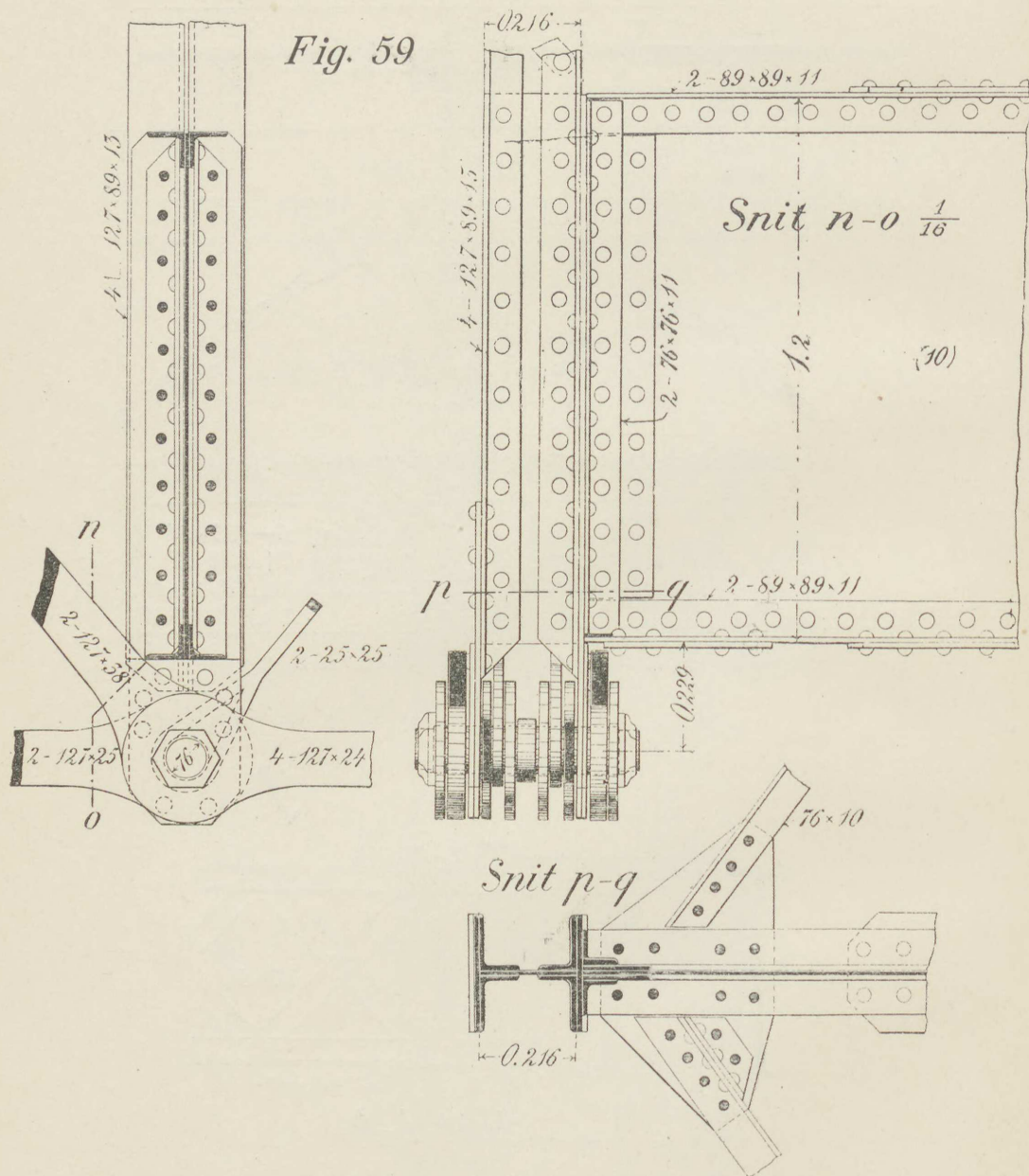
Fig. 58 viser det øvre knudepunkt af en bro på Fitchburgh jernbanen i Massachusetts. Broen har en spændvidde af 37,67 m., en højde af 7,85 m. ($\frac{h}{l} = \frac{1}{4,8}$) og en feltlængde af 6,5 m. Den øvre tværforbindelse dannes af en gitterbærer, der ved plader er befæstet til gurtens øvre og nedre flæns. Denne forbindelse synes at være noget svag. Vind-

Fig. 58



diagonalerne er, som fig. viser, befestede til vertikalpladen på hver side af knudepunktet ved hjælp af korte vinkeljernstykker og bolte.

Fig. 59 viser det tilsvarende nedre knudepunkt af samme bro. Af-



standen fra midte til midte af hovedbærerne er 4,877 m., tværbæreren har en højde af 1,2 m., modsvarende $\frac{1}{4}$ af længden. Diagonalerne i det nedre vindfakværk består af vinkeljern og er som angivet fastklinkede til en på undersiden af tværbæreren befestet plade.

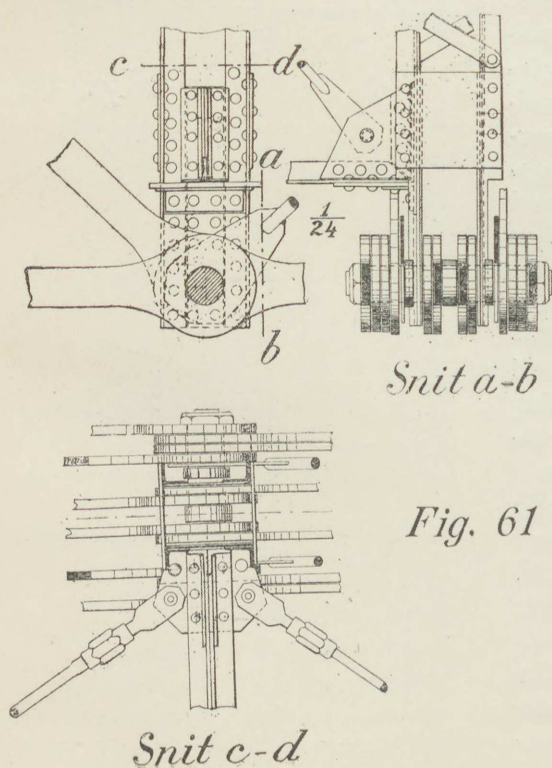
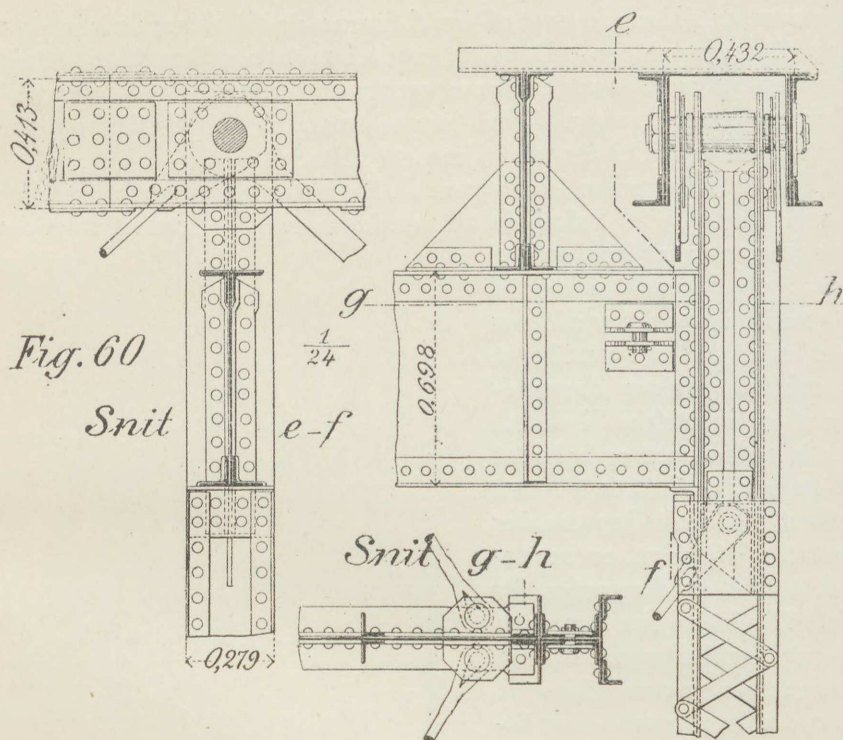


Fig. 60 og 61 viser et par knudepunkter af broen over Connecticutfloden på Fitchburg jernbanen.

Broen er dobbeltsporet og har 3 hovedbærere af 54.86 m. længde, 8.48 m. højde og 4.57 m. feltlængde. Fakværkssystemet er Whipple, og brobanen er anbragt ovenpå. Fig. 60 er et knudepunkt af overgurtten. Vertikalerne er sammensatte af 2 plader og 4 vinkeljern med de åbne sider forgitrede. I den øvre del, hvor tværbærerne er anbragt, er forgitringen erstattet med en i midten af vertikalerne anbragt plade, der er befæstet med vinkeljern. De sekundære

langbærere er placerede ovenpå tværbærerne og til siderne afstivede med triangelformede plader. Desuden er de i midten af hvert felt afstivede indbyrdes og mod hovedbærernes overgurter formedelst et ovenpå lagt vinkeljern, som fig. viser. Vinddiagonalerne er befæstede til tværbærerne ved hjælp af fastklinkede vinkeljern og bolte.

Fig 61 er et nedre knudepunkt. De horisontale tværforbindelser er her ved knudeplader befæstede til vertikalerne. For hvert felt er der et andreaskors af rundjern, som er befæstet på følgende måde. I det øvre knudepunkt er på hver side af midtpladen i vertikalen lagt mindre plader; diagonalstangen er indstukket i det så dannede mellemrum og befæstet med en bolt, der holdes fast med en splint. Af vinkeljernene, der befæster midtpladen, er borttaget så meget, at diagonalen får plads. Ligeledes har den ydre plade af vertikalen en åbning, så stangen kan passere igjennem. I det nedre knudepunkt sker befæstelsen på analog måde, idet diagonalen er stukket ind i mellemrummet mellem to knudeplader, der er fastklinkede til vertikalen og den horisontale tværforbindelse. Øiet af disse diagonaler samt af moddiagonalerne i hovedbærerne er dannet af en plade, som er fastsveiset til rundjernsstangen.

Fig. 62

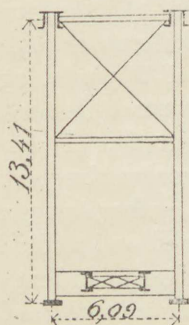


Fig. 62—
66 hører til Blair Crossing broen, der fører Sioux City & Pacific jernbanen over Missouri. Broen består af 3 hovedspænd à 100,5 m. og to endespænd af hen-

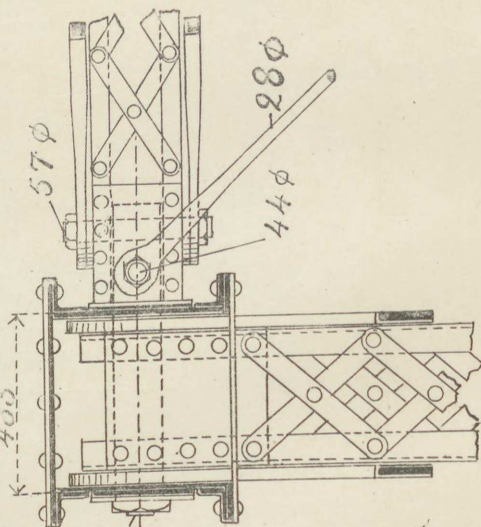
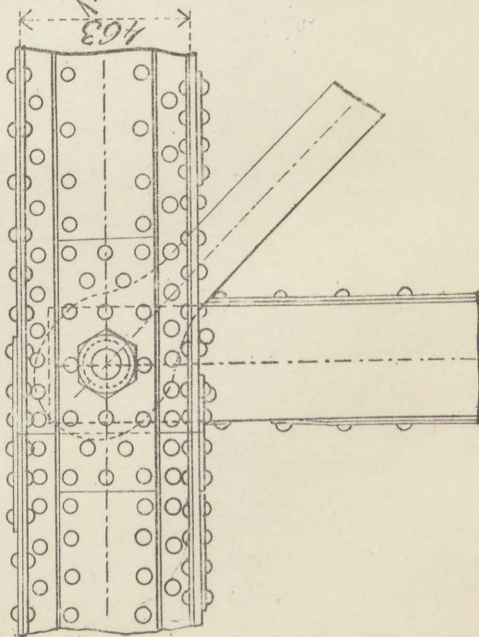


Fig. 63



holdsvis 53,64 og 33,35 m. Broerne over hovedåbningerne er byggede efter system Whipple, og fig. 62 viser et schematisk tværsnit af samme. Hovedbærerne har en højde af 13,41 m. og en feltlængde af 6,705 m. Brobanen er an-

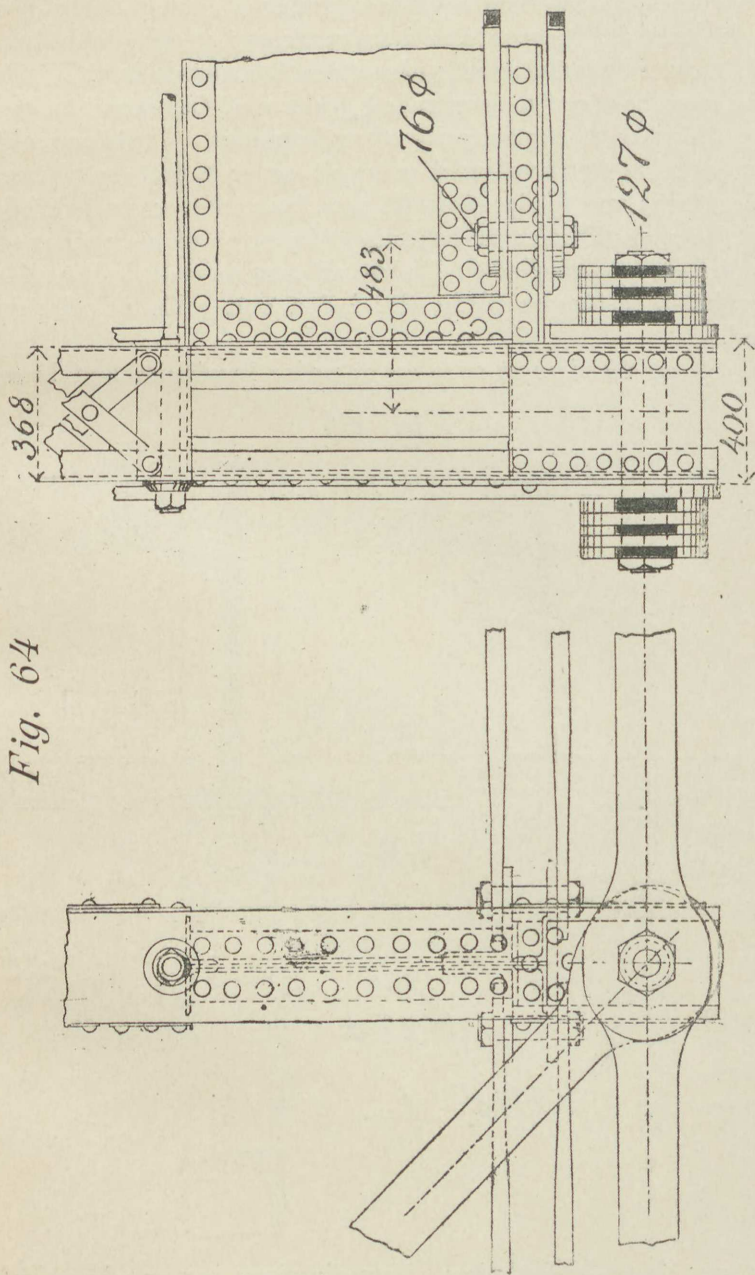


Fig. 64

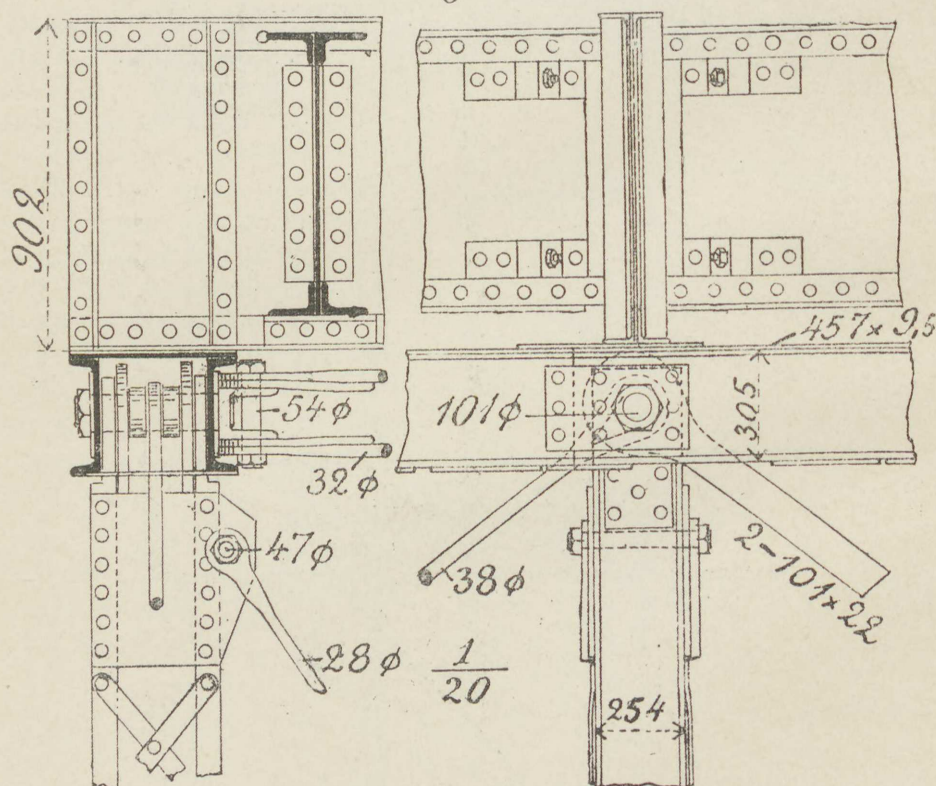
bragt ved den nedre gurt, og, da hovedbærerne er så høje, er der over lysprofilet ved hver vertikal anbragt et andreakors, der afstiver broen i tværretningen. Fig. 63 viser et knudepunkt af overgurt. Stænderne i vindfak-

værket består af to horisontalt lagte og forgitrede 203 mm. høje **L**-jern. De er befæstede direkte til hovedbolten med to mindre bolte, en vertikal og en horisontal af henholdsvis 57 og 44 mm. diameter. Den førstnævnte bolt tjener også til at befæste vinddiagonalerne, der er dobbelte og har kvadratisk tværsnit. Diagonalerne i andreaskorset er også dobbelte, består af rundjern og er befæstede ved hjælp af den horisontale bolt. Vertikalerne i hovedbæreren består af to forgitrede **L**-jern med flenserne vendte indad.

Fig. 64 viser et knudepunkt af undergurten. Vinddiagonalerne er også her dobbelte, har kvadratisk tværsnit og er befæstede til tværbærerens nedre flæns ved hjælp af en 76 mm. bolt, der er stukket igennem et til ståpladen fastklinket vinkeljernsstykke og en på undersiden af tværbæreren befæstet knudeplade. Enden af tværbæreren hviler på en til hovedvertikalen fastnaglet plade, der i den øvre ende er bøiet om i en ret vinkel.

Fig. 65 og 66 viser et øvre og et nedre knudepunkt af broen over

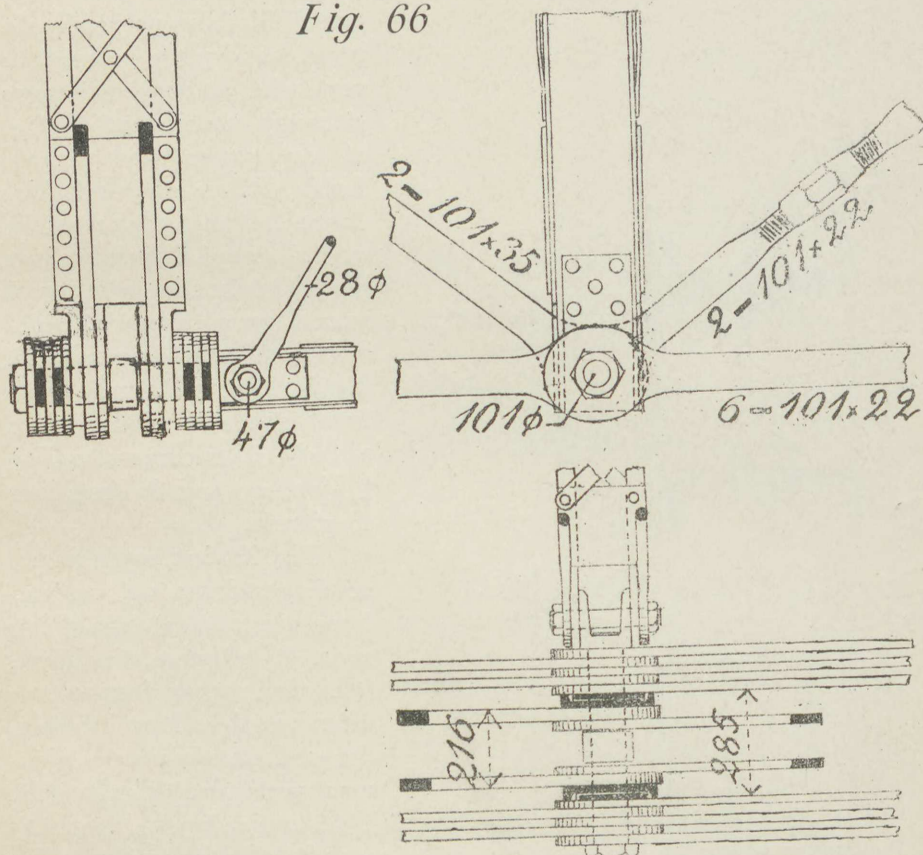
Fig. 65



den 33,53 mm. lange endeåbning. Hovedbærerne her er af system Pratt med brobanen oventil og er delte i 5 lige lange felter. Forholdet $\frac{h}{l}$ er $= \frac{1}{7}$. Tværbærerne ligger direkte på overgurten. Broen har kun ét horisontalforband, som er anbragt i overgurten. Fer at afstive den i

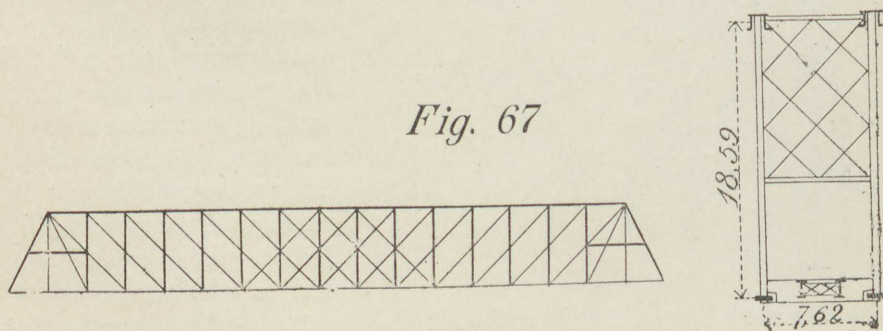
tværretningen er der ved hver vertikal et andreakors af rundjern. I det øvre knudepunkt er på den indad vendende ende af hovedbolten påskruet en **U**-formet møtrik, til hvilken vinddiagonalerne er befæstede med en vanlig bolt. I det nedre knudepunkt er forbindelsen analog. Den horisontale afstivning dannes af to forgitrede **U**-jern, der tilligemed tværdiagonalerne ved hjælp af en bolt er befæstede til den **U**-formede møtrik på hovedbolten.

Fig. 66



De følgende fig. 67—70 viser enkelte dele fra den storartede bro, der fører Chicago, St. Louis & New Orleans jernbanen over Ohio floden

Fig. 67



ved byen Cairo. Hvad her er vist, hører til et spænd af 157,88 m. længde. Fig. 67 viser schematisk oprids og tværsnit af broen. Tværafstivningen, der har den form tværsnittet viser, består af vinkeljern og plader og er

fast forbunden med hovedbærrerne. Fig. 68 viser et knudepunkt af overgurten i nærheden af midten. Den øvre tværforbindelse er ved hjælp af en knudeplade befastet til vertikalen, og der er borttaget så meget material af pladen, at overgurten kan passere forbi. Videre er tværforbindelsen befastet til overgurten ved en ovenpå dækpladen lagt horisontal knudeplade, der på samme gang tjener til befæstelse af vinddiagonalerne. Vertikalerne i hovedfakværket består af to plader og fire vinkeljern, sammensatte til to **L**-jern og med de åbne sider forgitrede.

Fig. 69 viser krydsningen af diagonalerne og vertikalerne samt befæstelsen af den nedre del af tværafstivningen. Som man ser, er diagonalerne efter længden delte i to dele, der er forenede ved en gennem vertikalen gående bolt. I alle øvrige krydsningspunkter af vertikaler og diagonaler er anordningen ligedan. Ved dette arrangement blir diagonalerne ikke så lange og uhåndterlige, deres nedbøining fra egen vægten blir formindsket, og stænderne holdes fast i midten. Da disse sidste er afstivede også i broens tværetning, blir deres knækningslængde reduceret til mindre end halvdelen.

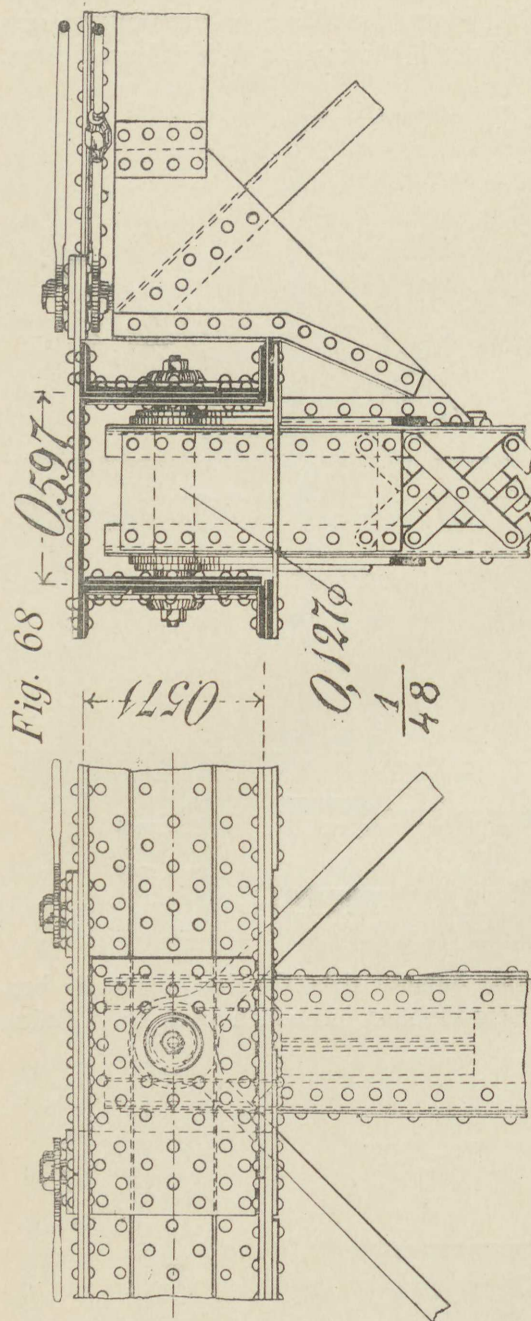
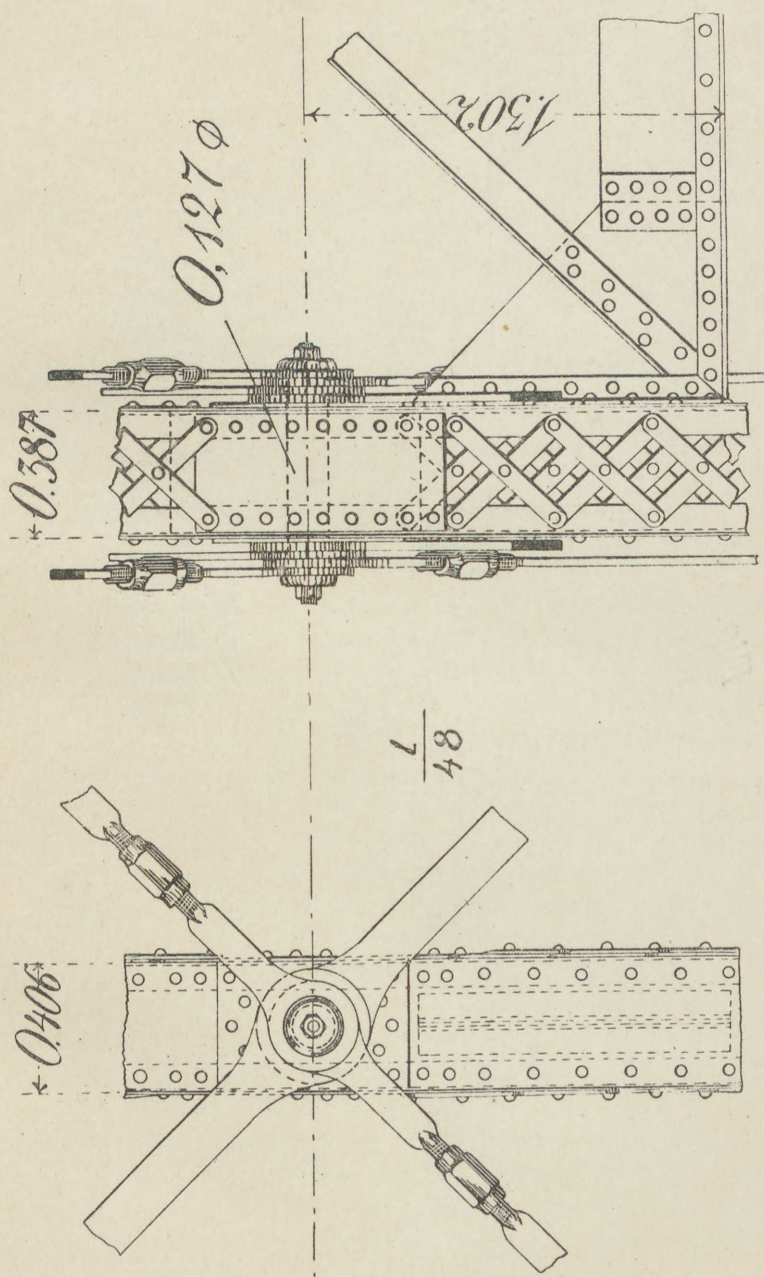


Fig. 70 viser et knudepunkt af undergurten. Tværbærrerne er an-

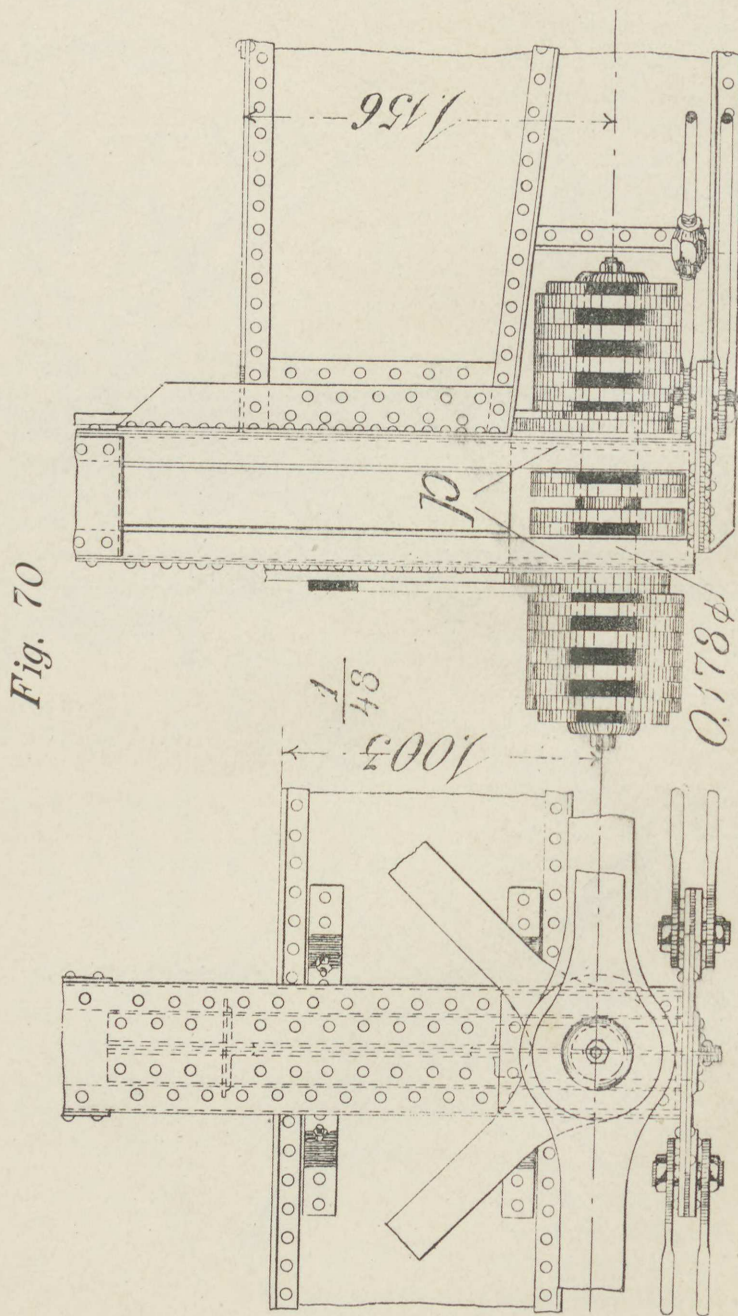
bragte så, at deres nedre flæns er omtrent i høide med enden af vertikalerne. De nedre gurtvinkler er førte hen til disse og her fastnaglede

Fig. 69



til horisontale plader, som ved hjælp af en i **L**-form bøiet plade *p* er befestede til vertikalerne. I de horisontale plader er de dobbelte vind-

diagonaler fastgjorte med bolte. Af tværbærernes ståplader er der fjernet så meget material, at undergurten kan passere forbi. De på ståpladen i



lidt mindre end den halve højde anbragte vinkeljern går fra ende til ende og understøtter med sine udstående flænses de sekundære langbærere.

IV. Enkle Fakværksbroer.

På bl. X er vist en ny bro fra Northern Pacificbanen. Som af det schematiske oprids fremgår hører fakværket til det enkle system Pratt. Fakværkshøiden er $= \frac{1}{5,5}$ af længden. I de to midterste felter, hvor skjærkraften kan være såvel opad som nedad rettet, er ikke som vanligt moddiagonaler anvendte, men istedet derfor hoveddiagonalerne konstruerede så, at de kan modstå både stræk og tryk. Derved er den statiske ubestemthed bragt væk, der har sin grund i den vilkårlige anspændelse af moddiagonalerne fra arbeiderens side. Den første stræver ABC er i midten fastholdt af en hjælpestræver BD, der går ned til det andet knudepunkt i undergurten. Dette er skeet dels for at formindske stræverens knæklængde, dels for at forøge dens modstandsevne mod de slag og stød, den kan blive udsat for ved en udsporing.

Overgurten og endestræverne har det vanlige kassetværsnit og består af 2 vertikalplader, 4 vinkeljern og én dækplade med forgitring på den undre side. De for tryk udsatte vertikaler og diagonaler består af 2 forgitrede -jern. Kun i de to midterste felter er undergurten sammensat af øiestænger, medens den i de to yderste felter består af 2 vertikalplader og 4 vinkeljern, der er sammensatte til -form og forgitrede på over- og undersiden. Årsagen hertil er, at dette parti af undergurten kan blive udsat for tryk fra de horisontale kræfter (vindtryk og slag fra vognene).

I hvert knudepunkt af overgurten er som afstivning anbragt en liden fakværksbærer af den i tværsnittet viste form. Den er ved en vertikal knudeplade befæstet til vertikalen og ved en horisontal sådan til overgurten. Til den horisontale knudeplade er også vinddiagonalerne, der består af et vinkeljern, fastnaglede.

Nedentil danner tværbærerne forbindelsen mellem hovedbærerne. Underkanten af tværbæreren er ført frem til gurten og ved hjælp af et par vinkeljern befæstet til en horisontal knudeplade, der formedelst en i -form boiet plade er fast også til den nedre ende af vertikalen. (Se tværsnittet og knudepunktet D). Til den horisontale knudeplade er vinddiagonalerne af vinkeljern fastnaglede. Af tværbærerens ståplade er der taget væk så meget material, at undergurten kan passere forbi.

I knudepunktet A er hver af endestræverens vertikalplader forstærket med tre påforingsplader — en på den indre side og to på ydersiden — for at forøge den flade, der hviler på bolten. Den yderste påforingsplade griber om bolten. Oplagerskoen er på en modsvarende måde dannet af vinkeljern og plader, og på hver side griber en af disse sidste om bolten nedenfra. (Se snit *a—b*). Den med påforingsplader forstærkede undergurt griber om bolten udenfor stræveren og skoen. Alle dele kan altså dreie sig frit om, men ikke løftes fra bolten.

For at fordele oplagerreaktionen på murværket anvendes som underlag for rullerne jernbaneskiner. Skinnefoden høvles af på skrå på den måde, fig. *x* viser, så at den ene skinne holder den anden nede, når skin-

nerne lægges tæt sammen. Mellem skinnehovederne er der et mellemrum af 10—15 mm. Skinnestykkerne nagles fast på en grundplade, og hovederne afhøvles, så de alle ligger i samme plan. Kun den midterste skinne er lidt høiere end de øvrige og griber ind i en fordybning i rullerne for at forhindre en forskyvning til siden. Denne anordning har den fordel, at planet, som rullerne hviler på, let kan holdes rent, så bevægelsen sker lettere. Smuds, der samler sig, føres ned i mellemrummet mellem skinnerne og kan let fjernes derfra. Oplagerskoen er befæstet til murværket ved to ankerbolte, der går gennem aflange huller, så en forskyvning i længderetningen kan finde sted.

I knudepunktet C er vertikalpladerne af den her sammenstødende gurt og endestræver forstærkede med påforingsplader for at forøge den bærende flade på bolten. Et par af disse plader griber fra hver side om bolten — ligesom ved oplageret —, medens de øvrige blot går til henimod vinkelhalveringslinien, dog så, at der mellem gurt- og stræverpladerne blir et lidet spillerum, som fig. viser. En liden dreining er altså mulig, men en forskyvning eller adskillen af delene forhindret. Hvor det er nødvendigt, er naglehovederne forsænkede.

Tværafstivningen i knudepunktet C ligger i endestræverens plan. Den er anordnet ligesom den i tværsnittet viste normale afstivning, kun er den lidt høiere. De to øvre vinkeljern af samme ligger lidt over overgurtten og er ved hjælp af de bøiede plader y og z befæstede til denne.

Konstruktionen af de øvrige knudepunkter fremgår af tegningerne uden nogen nærmere beskrivelse.

På bl. XI er vist overbygningen af flomåbningerne til den før nævnte bro, der fører Chicago, St. Louis & New Orleans jernbanen over Ohio-floden ved byen Cairo. På den ene strandbred er der 17, på den anden 21 sådanne broer, der fører hen til den egentlige hovedbro over floden. Detaljer af denne sidste er vist i textfig. 67—70.

Pillarerne for broerne over flomåbningerne består af 2 cylindre af stålplader, som er fyldte med beton og hviler på pæle. Arbeidet kunde udføres i det tørre. For hver cylinder gravedes en fordybning omtrent indtil 2,5 m. under markens niveau. I hver fordybning nedrammedes 12 pæle, og omkring pælehovederne lagdes en betonkage, på hvilken plade-cylindrene stilledes op og nagledes sammen. Derpå udfyldtes det indre med stampet beton, og ovenpå afdækkedes cylinderen med et pladelæg. Cylindrenes diameter er 2,438 m., tykkelsen af stålpladerne er 13 mm., og den del af samme, der er i jorden, er udenpå omgivet af et 15 cm. tykt betonlag.

A er det faste oplager, der hviler direkte på pillaren. F er det bevægelige oplager, der er understøttet af en charniersøile. Ved dette arrangement blir hovedbærernes form usymmetrisk; men den fordel opnåes, at belastningen altid virker centrisk på pillaren, og der behøves blot et oplager på samme.

I endestræverens og charniersøilens planer, AB og AF, er anbragt

kraftige afstivningsrammer af den i tværsnittet og i detaljpunkterne A, B og F viste form. Ved vertikalerne er tværafstivningen enklere og består af to diagonaler af vinkeljern samt af en øvre og en nedre T-bærer, der er sammensat af en plade og to vinkeljern, som detaljfig. D og E viser.

Overgurten har konstant tværsnit helt igennem og består af to vertikallplader og fire vinkeljern, sammensatte til -form og forgitrene på over- og undersiden. Samme tværsnit har også charniersøilen. Ved endestræveren AB er der føiet til en dækplade på oversiden. Alle vertikaler består af to forgitrede -jern. Der er blot ét horisontalforband, der er anbragt i overgurten.

I knudepunkterne A og B er forbindelserne analoge de i foregående eksempel, nemlig så, at en forskyvning eller adskillen af de enkelte dele ikke kan finde sted, medens en liden dreining dog er mulig. I oplagerpunktet A viker stængerne på boltene i følgende orden udenfra regnet: først undergurtens øiestænger, så endestræveren AB og inderst charniersøilen AF. Denne sidste er så meget smalere end stræveren, at den netop får plads i åbningen mellem stræverens vertikallplader. Hvor det er nødvendigt, er de udstående flænses af vinkeljernene fjernede. Lige under stræverens og søilens plader er vertikallvæggene af oplagerskoen, så boltene anstrænges kun i ringe grad på bøining. Oplageret er forankret i pillarcylinderens betonmasse med fire 1,5 m. lange ankerbolt.

I overgurten er ved alle knudepunkter forgitringen på oversiden erstattet med en stor knudeplade, som tværbærerne er fastnaglede til og afstivede mod. I samme knudeplade er også vinddiagonalerne befæstede med gaffelformige øiestykker.

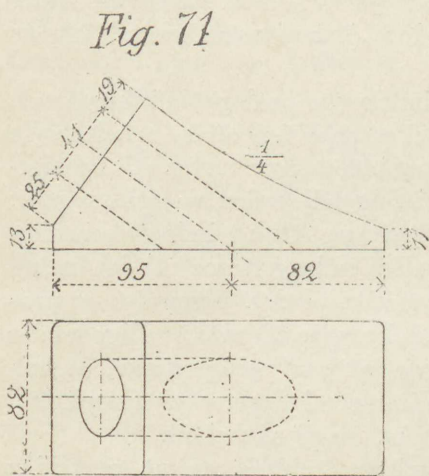
Detaljpunktet F viser det bevægelige oplager af de sekundære langbærere, der går fra den ene bro til den anden. Der er anordnet et almindeligt plant glidelager, der bæres af en til tværbæreren fastnaglet konsol. For at gøre forbindelsen mellem de to sammentræffende langbærere bedre er deres vertikallplader forbundne med lasker, en på hver side. Men for at forskyvningen i længderetningen ikke skal hindres, er ved den bevægelige bærer hullerne i laskerne aflange, og forbindelsen sker ved skruebolte. Begge bærere, såvel den faste som den bevægelige, har ved enderne tværafstivninger af den antydede form.

På bl. XII er fremstillet en jernbanebro, der viser en del afvigelse fra den vanlige anordning, hvad detaljerne angår. Hovedfakværket er af system Pratt med en højde = $\frac{1}{5,3}$ af længden. I det schematiske grundrids angiver den venstre del det nedre, den højre del det øvre horisontalforband. Overgurten og de skrå endestrævere består af to -jern, der på oversiden er forbundne med en dækplade, på undersiden med et gitterværk. Vertikalerne udgøres af to forgitrede -jern. Undergurten og diagonalerne består overalt af øiestænger.

I knudepunktet A er forbindelsen af de enkelte dele af hovedfakværket udført på vanlig måde. Tværafstivningen her ligger i endestræverens plan og består af en liden fakværksbjælke, hvis øvre gurt ved hjælp

af de bøiede plader a og a_1 er befæstet til hovedbærerens overgurt. Den nedre gurt er ved hjælp af vinkeljernet b fast til endestræveren. Vinddiagonalerne er af rundjern og befæstede blot til den ene gurtvæg, som snittet $l-m$ viser. Der er nemlig i $\perp$ -jernets vertikale væg og i påforingspladerne udpresset aflange huller, så vinddiagonalerne kan passere igjennem. I den inderste påforingsplade er udpresset en rektangulær åbning

(vist i opridset med prikkede linier), i hvilken en støbejernsklods c , der danner underlaget for møtriken, passer ind. Denne støbejernsklods er nærmere vist i textfig. 71.



De øvrige knudepunkter af overgurtten er alle konstruerede på samme måde som det i detalj viste punkt B. Vertikalerne er naglede til de til overgurtten befæstede plader d . Forbindelsen er altså fast, og bolten tjener kun til at befæste diagonalerne. Vinddiagonalerne er befæstede på lignende måde som i knudepunktet A. Tværforbindelserne i mellempunkterne udgøres af 4 vinkeljern, så som tværsnittet og detaljpunktet B nærmere viser.

C er et knudepunkt af undergurtten. Her er befæstelsen af vinddiagonalerne eiendommelig. Begge $\perp$ -jernene af vertikalerne er nemlig nedentil ved hjælp af vinkeljern forbundne med to plader e og e_1 af en uregelmæssig sexkantet form. (Se snit $r-s$). Mellem disse plader ligger støbejernsklodsene f (også viste i detalj), der danner underlag for møtrikerne. Klodsene griber med det ene hjørne ind mellem pladerne e og e_1 så de ikke falder ned. Forøvrigt ligger de an imod pladerne og flænskerne af $\perp$ -jernene, så den skråttedte kraft i vinddiagonalerne kan overføres. Klodsene er alle lige og hullerne så meget excentriske, at vinddiagonalerne kan passere hinanden, når klodsene lægges om fra den ene side til den anden.

D er det faste oplager. Endestræveren og undergurtten forener sig på en bolt, formedelst hvilken oplagertrykket overføres på den af plader og vinkeljern sammensatte oplagerstol. Denne sidste er befæstet til murværket med 4 stenbolte. Vinddiagonalerne er befæstede til oplagerstolen på lignende måde som til overgurtten ved hjælp af en støbejernsklods g , der griber ind i rektangulære huller, udpressede i fodvinkeljernet og en af vertikalpladerne. Bagsiden af oplagerstolen dannes af ende-tværbæreren. Denne har en helt anden stilling end de øvrige tværbærere. (Smlgn. tværsnittet.) Af de sekundære langbærere er derfor af det nederste hjørne af ståpladen udskåret så meget, at langbærerne kommer at hvile på ende-tværbæreren, til hvilken de er fastklinkede.

E er den bevægelige bro-ende, der er ophængt så, at den kan svinge frem og tilbage i hovedbærerens plan. Endestræveren og undergurten forener sig på bolten l . Denne er ved to kraftige hængjern m ophængt i bolten n , fra hvilken oplagertrykket går over til oplagerstolen. Denne sidste er sammensat af plader og vinkeljern og befæstet til murværket med 4 stenbolte. Vinddiagonalerne er befæstede til den frem og tilbage svingende ende af hovedbærerne på følgende måde. Begge halvdele af endestræveren er nedentil forbundne med en plade p . Vinddiagonalen q^s ende er udsmedet gaffelformig, griber om pladen p og er befæstet til samme ved en bolt r . Den i broens længderetning virkende komponent af kraften i vinddiagonalen går altså gennem pladen p , den nederste del af endestræveren og bolten l over til oplagerstolen og murværket. For at den i tværretningen virkende komponent skal kunne overføres, er der truffet følgende anordning. Gennem pladen p går en bolt s , i hvis øvre ende der er udsmedet et øie, der griber om bolten l . I den nedre ende af s griber fat et lidet bøiet fladjern t , der er fast til bundpladen formodelst en bolt v på den ydre side af hovedbæreren. Når altså vinddiagonalen er anstrængt, går kraftkomponenten i broens tværretning gennem pladen p , bolten s , fladjernet t og bolten v over i murværket. Men da fladjernet t kan dreie sig i broens længderetning om boltene s og v , så er hovedbærerens længdeforandring ved temperaturvexlinger ikke hindret.

Ligesom ved det faste oplager danner også her ende-tværbæreren en del af den faste oplagerstols bagre væg. De sekundære langbærere er anordnede på samme måde som ved det faste oplager; kun sker befæstelsen til tværbæreren ved bolte, der går gennem aflange huller, så at langbærerne kan forskyve sig så meget som behøves.

Denne anordning af det bevægelige oplager kan ikke siges at være enkel. Fordele fremfor den vanlige konstruktion med ruller byder den ikke, snarere tværtom. Er

A = oplagerreaktionen,

a = længden af hængjernet fra boltemidte til boltemidte,

r = radien af den øvre bolt,

f = friktionskoefficienten ved hængjernets glidning på bolten, så er den i den nedre bolt angribende horisontale kraft, der formår at dreie hængjernet:

$$F = \frac{f \cdot r}{a} A$$

Anvendes ruller, og er

r_1 = radien af rullen,

f_1 = koefficienten for den rullende friktion,

så er i dette tilfælde friktionsmodstanden

$$F_1 = \frac{f_1}{r_1} A. \text{ Følgelig blir forholdet}$$

$$\frac{F}{F_1} = \frac{f \cdot r \cdot r_1}{f_1 \cdot a}$$

Ved den beskrevne bro er:

$r = 6,35$ cm., $a = 66$ cm. Indsætter man videre følgende værdier:

$f = 0,14$, $f_1 = 0,05$ (enhed cm.) $r_1 = 3,75$ cm., så blir

$$\frac{F}{F_1} = \frac{0,14 \cdot 6,35 \cdot 3,75}{0,05 \cdot 66} = 1.$$

For de anførte værdier er altså modstanden mod bevægelse ved begge anordninger den samme. Vælges en større radius for rullerne, hvilket en europæisk ingeniør vilde gjøre, så blir modstanden ved rullelageret endnu mindre, og dette altså fordelagtigere.

En anden omstændighed, der taler til ugunst for den beskrevne anordning, er den følgende. Hængejernene er kun ved en vis bestemt temperatur nøiagtig vertikale. Ved andre temperaturer indtager de en skrå stilling, og heraf resulterer en tillægskraft i undergurten. Er

l = broens længde.

$\pm t$ = temperaturforandringen,

ε = jernets udvidelseskoefficient (= 0,000012)

så forandres broens længde med

$$\pm \Delta l = \pm \varepsilon t l,$$

og den fremkaldte tillægskraft blir

$$\Delta P = \pm \frac{\varepsilon t l A}{a}.$$

Den kan optræde som tryk eller stræk, eftersom temperaturen stiger eller falder. Sætter vi f. ex. $t = \pm 30^\circ \text{C}$, så er ved den foreliggende bro ($l = 40,233 \text{ m}$)

$$\Delta P = \pm \frac{0,000012 \cdot 30 \cdot 40,233}{0,66} A = 0,022 A.$$

Tillægskraften udgjør altså i dette tilfælde lidt over 2 % af oplagerreaktionen.

V. Cantilever-broer.

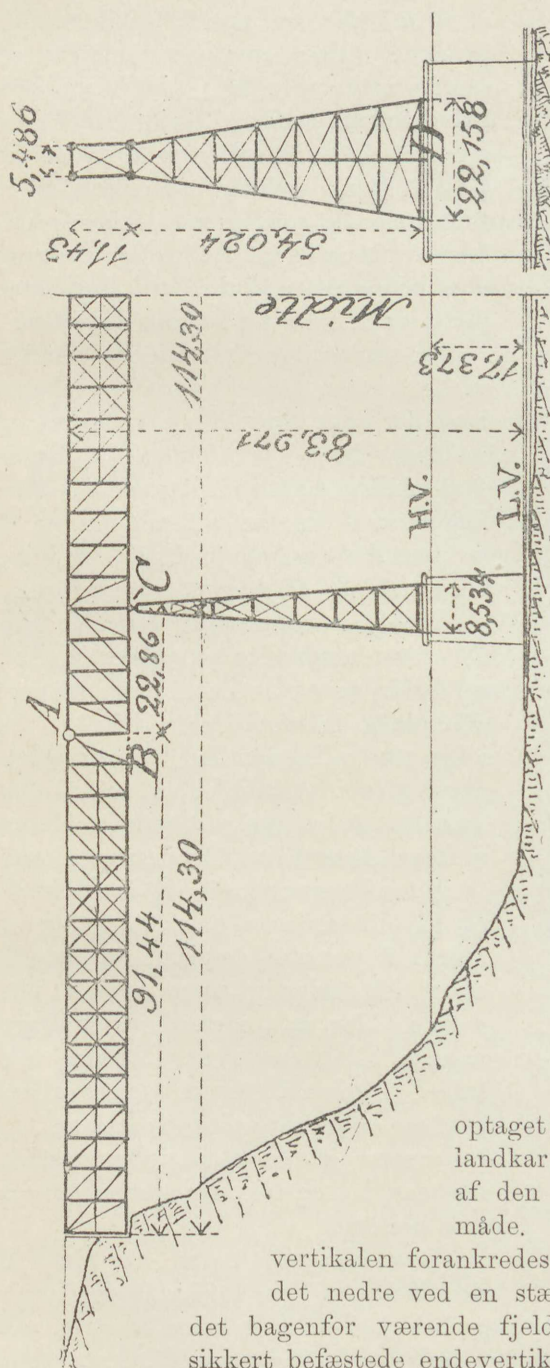
Som før nævnt anvender amerikanerne den almindelige kontinuerlige bærer i regelen kun for svingbroer. I andre tilfælde, hvor den kontinuerlige bærer kunde være berettiget, anvendes cantilever-bæreren (den kontinuerlige charnier-bærer), der frembyder omtrent samme fordele som den førstnævnte og er statisk bestemt, så at beregningen ikke behøver baseres på elasticitetsteorien. Heraf følger også, at en liden forandring i understøttelsespunkternes høide er uden indflydelse på kræfterne i bæreren. Den amerikanske knudepunktsforbindelse med bolte gjør, at charniererne kan anordnes på lignende måde som de øvrige knudepunkter.

Fig. 72 viser schematisk den første i Amerika udførte cantilever-bro. Den fører Cincinnati-Southern jernbanen over Kentucky floden og byggedes 1877 af Shaler Smith. Broen har 3 åbninger à 114,3 m., og brobanens høide over lavvandsspeilet er ca. 84 m. Bæreren over midtåbningen går i ét til punkterne A, der er symmetrisk anordnede med hensyn til midten, og rager 22,86 m. ind i sideåbningerne. I A er bærerne over disse sidste åbninger ophængte. Overgurterne er nemlig anordnede så, at de griber ind i hinanden, og gennem begge er stukket en bolt, der også optager de andre stænger, som træffer sammen i dette knudepunkt. I feltet B er undergurterne stukne ind i hinanden, men uden videre forbindelse, så at nogen kraftoverføring her ikke kan finde sted. Denne undergurtstang er jo også uden spænding. Reaktionen fra sidebærerne overføres således til midtbæreren blot i punkterne A.

Pillarerne har en ikke vanlig anordning. Nedentil er de nemlig faste i to punkter D, et på hver side, medens hver søilefod hviler på to

på hinanden hvilende lag ruller. Rullerne i det ene lag er vinkelrette

Fig. 72.



på rullerne i det andet lag og adskilte fra samme ved en mellemliggende plade. Søile-enderne kan derfor bevæge sig i alle retninger med ringe modstand. Oven-til i punktet C overføres oplagertrykket ved en svær centrumbolt, så at midtbæreren vel kan dreie sig så meget som behøves, men ikke forskyve sig på pillaren. Som følge heraf vil pillaren kun ved en midlere temperatur -15°C stå nøiagtig lodret. Ved andre temperaturer vil den være bøiet til den ene eller den anden side, eftersom temperaturen er over eller under den midlere. Til denne bøining måtte der selvfølgelig tages hensyn ved bestemmelsen af pillarens dimensioner. På landkarrene hviler broen på ruller.

I slutningen af 1850-årene havde man begyndt at bygge en hængebro over floden på samme sted og havde allerede opført landkarrene og pillarerne for kablerne, da uheldige finansielle forhold bevirkede, at arbeidet blev indstillet.

Senere blev det ikke gjenoptaget; men de færdige pillarer og landkar benyttedes ved monteringen af den nuværende bro på følgende måde. Det øvre knudepunkt af ende-

vertikalen forankredes i det gamle murværk, medens det nedre ved en stærk skruevinde støttedes mod det bagfor værende fjeld. Fra den på denne måde sikkert befæstede endevertikal byggedes broen ud fritsvæ-

vende fra hvert landkar, idet det ene felt føiedes til det andet, indtil anstrængelsen i fakværket blev så stor, at man ikke turde gå længere.

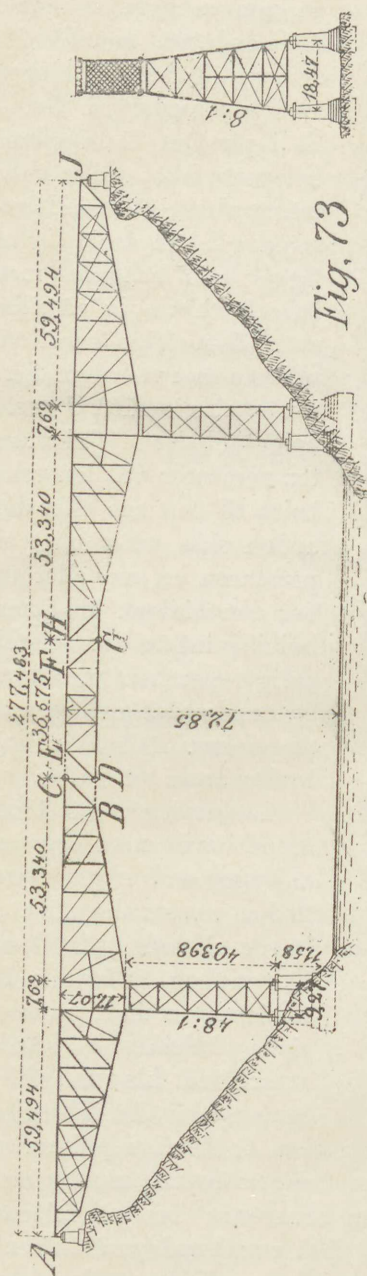
Ved enden af den færdig monterede del anbragtes en provisorisk træpillarsom understøttelse, og man fortsatte nu monteringen videre over jernpillarerne på samme måde som før, indtil begge brohalvdele traf sammen i midten. Under arbeidet måtte naturligvis de to bærere i feltet B midlertidig forbindes så, at de fungerede som en sammenhængende bærer. Da arbeidet var færdigt, løsnedes den midlertidige forbindelse, og broen gik over til at blive en cantileverbros.

En anden meget bekjendt cantileverbros er den dobbeltsporede jernbanebro, der går over Niagara floden og forbinder New York Central jernbanen med Michigan Central jernbanen. Den ligger ca. 3 km. nedenfor faldet og 90 m. ovenfor den bekjendte, af Røbling i årene 1851—55 byggede hængesbro.

Broen er schematisk fremstillet i fig. 73. Den består af to konsolbærere, ABC og GHI, og en mellem dem ophængt almindelig fakværksbærer DEFG. De i fig. med prikkede linier tegnede stænger findes i virkeligheden, men er betegnede på den angivne måde for klarere at fremstille princippet for konstruktionen.

Konsolbærerne hviler på landkarrene og på pillarsøilerne, er altså understøttede i 3 punkter og vilde ved vanlig anordning følgelig være statisk ubestemte. For at undgå dette er diagonalerne i felterne over pillarerne udeladte. I disse felter er derfor skjærkraften = 0, alle oplagerreaktioner kan bestemmes af de almindelige statiske ligevægtsbetingelser, og systemet er statisk bestemt.

Den midterste bærer har sine understøttelser i punkterne G og D. G repræsenterer det faste oplager, og forbindelsen med konsolbæreren sker ved en bolt. D er det bevægelige oplager, idet stangen CD kan svinge



til høire og til venstre. De med prikkede linier betegnede stænger har i punkterne D, E og F aflange boltehuller, så at den af temperaturvexlinger forårsagede længdeforandring kan gå for sig uden videre.

I tværretningen er de to hovedbærere afstivede med et enkelt eller dobbelt andreaskors, beroende på bærerhøiden. Kun i vertikalerne over soilerne udgjøres afstivningen af en småmasket gitterramme, som det schematiske tværsnit viser.

Soilerne i tårnpillarerne har kasseformigt tværsnit og er sammensatte af ståplader, vinkeljern og en dækplade. Den åbne side er forgitret. Undergurten af konsolbærerne har også kassetværsnit og består af 4 vinkeljern og 2 eller flere ståplader efter kraftens størrelse. Dækplade findes ikke, men den øvre og den undre side er forgitret. Overgurten af konsolbærerne består i de over floden hængende arme af øiestænger, da der i denne del kun optræder strækkrafter. I landarmene derimod optræder såvel stræk som tryk, eftersom midtåbningen eller sideåbningen belastes. Tværsnittet er derfor her sammensat som fig. 74 viser. Det består af en

Fig. 74



midtre, af ståplader og vinkeljern sammensat del for at optage trykkrafterne og af udenfor denne anbragte øiestænger for at optage strækkrafterne. Disse sidste er betydelig større end trykkrafterne, og øiestængernes antal varierer fra 2 til 12.

I midtbærerne består overgurten af 2 vertikalt stillede -jern, oventil forbundne med en dækplade, nedentil med et gitterværk. Undergurten udgjøres i de to yderste felter af 2 vertikale, forgitrede -jern, i det midterste felt derimod af øiestænger. Denne anordning var betinget af monteringsmetoden.

Vertikalerne består i almindelighed af 2 forgitrede -jern, som, hvor det er nødvendigt, er forstærkede med pånaglede plader. Diagonalerne udgjøres overalt af øiestænger.

Når midtåbningen belastes, er konsolbærerne udsatte for at løftes op fra landkarrene. De må derfor forankres til disse. Videre må der sørges for, at længdeforandringen ved temperaturvexlinger kan gå for sig. Oplagerne på landkarrene udgjøres derfor af som lænker anordnede, korte støtter, der med sin øvre ende griber om bolten i enden af konsolbærerne. Med sin nedre ende støtter de sig på en oplagersko og griber tillige om en gennem forankringsstængerne stukken bolt. Støtterne kan således optage såvel opad som nedad rettede reaktioner og desuden svinge frem og tilbage, så meget som behøves.

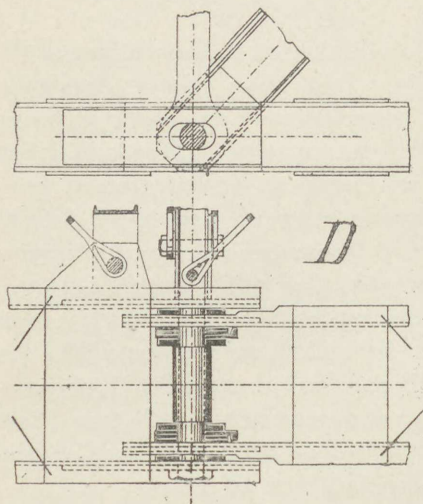
Oplagerne på pillarerne er faste og består af en bolt, der er stukken igennem undergurtens ståplader og en til soilens øvre ende befæstet oplagersko. Pillarerne må derfor optage også de horisontale kræfter, der virker i broens længderetning

Forbindelserne i knudepunkterne sker overalt formedelst bolte. Fig.

75 viser anordningen af knudepunktet D. I stangen BD er, som før nævnt, boltehullet aflangt, så at en forskyvning er mulig.

Monteringen af pillarerne og landarmene af konsolbærerne skede på faste stilladser, opstillede mellem pillarerne og landkarrene. Flodarmene og midtbæreren monteredes frit-

Fig. 75



strævende fra pillarerne og udover felt for felt, indtil begge dele traf sammen i midten. De bevægelige forbindelser mellem konsolbærerne og midtbæreren måtte naturligvis være fastkilede under monteringen.

Broen, der er konstrueret af ingeniør C. C. Schneider, byggedes 1883 af Central Bridge Works i Buffalo.

Den største indtil nu i Amerika byggede cantileverbro er den, som fører over Mississippi ved Memphis. Den er fremstillet på bl. XIII. Den er bygget af ingeniør G. S. Morison og blev færdig 1892. Som det schematiske oprids viser, har broen 3 hovedåbninger AC, CD og DG af hen-

holdsvis 189,293, 189,293 og 240,913 m. og 2 sideåbninger af 103,250 og 68,833 m. længde. Den førstnævnte sideåbning danner en bro for sig, og kun den sidstnævnte hører med til cantileverbroen. Opkjørselen til hovedbroen dannes på den vestre side af en bukkebro af stål med 26 åbninger.

Den ulige størrelse af hovedåbningerne har sin grund i, at den største trafik finder sted nærmest den østre strandbred, så at den frie åbning her måtte være størst. Bærerne er arrangerede på følgende måde.

Over midtåbningen er anbragt bæreren BCDE og over den østre sideåbning bæreren FGH, der begge med sine overhængende ender rage ind i naboåbningerne med en længde af 51,625 m. I disse cantileverbærere er de enkle fakværksbærere AB og EF ophængte i punkterne B, E og F. I de med prikkede linier betegnede stænger er anbragt bevægelige skjøder, så at disse stænger er uden virkning i statisk henseende.

Oplagerne A, C og G er faste, D og H bevægelige. Som af fig. fremgår, er det dobbelte system Warren med indskudte sekundære knudepunkter valgt som bærerform. De fra strævernes krydsningspunkter til overgurtens gående vertikaler er for at afstive denne gurt.

Feltlængden er konstant over hele broen og $= 8,604$ m. Konsolarmene BC, DE og FG har samme længde og høide, så de er ganske lige. Over oplagerne C, D og G er høiden $= \frac{1}{3}$ af længden af midtspændet CD. Også de ophængte bærere AB og EF er identiske med en bærerhøide $= \frac{1}{3}$ af længden. Størrelsen af åbningen GH er så, at belast-

ningen tilvenstre for G altid er større end tilhøire. Følgelig er reaktionen i H altid rettet opad, og dette punkt må derfor forankres. I broens tværretning er afstanden mellem hovedbærerne = 9,144 m. eller omtrent $\frac{1}{6}$ af spændvidden CD. Over- og undergurten af midtbæreren CD er udsat både for stræk og tryk. Tværnittet er derfor sammensat af 8 vertikallplader og 8 vinkeljern, ordnede så, at de danner 4 vertikale vægge, der på den øvre og nedre side er afstivede med gitterværk. (Se detaljpunkterne K og N). I konsolarmene BC, DE og FG er undergurten udsat for tryk og har derfor samme tværsnitsform som gurterne i midtspændet, kun består de 4 vertikallvægge af enkelte plader. (Se detaljpunktet D). På samme måde er også undergurten i forankringsarmen GH konstrueret. I de 3 felter nærmest H, hvor kraften er mindre, er dog de midterste vertikallvægge fjernede. (Smlgn. detaljpunktet H).

Denne anordning af tværnittet med flere vertikallvægge har den fordel, at metaltykkelsen ikke blir så stor og naglerne følgelig ikke så lange. En videre væsentlig fordel er, at kraftoverføringen i knudepunkterne blir meget heldig. Alle strævere griber om boltene i de ydre mellemrum mellem vertikallvæggene; boltene er understøttede i 4 punkter, og boiningsspændingerne i samme således reducerede så meget som muligt. Som følge heraf bøier bolten sig mindre under belastningen, og kraften fordeles derfor jævner på de enkelte, på bolten sammentræffende stænger.

Overgurten af konsolarmene BC, DE, FG og af forankringsarmen GH har at udholde blot strækkræfter. De er derfor gjorte af øiestænger, hvis antal varierer fra 4 til 13.

I de ophængte bærere AB og EF har både over- og undergurten den af vertikallplader, vinkeljern og dæklader sammensatte kasseform med den åbne side forgitret. I undergurten er dog i endefelterne, hvor kraften er forholdsvis liden, dækladen erstattet med et gitterværk. Årsagen til, at undergurten, der blot er udsat for stræk, fik et sådant tværnit, var den, at bæreren EF blev monteret fritsvævende fra konsolbærerne af. Under monteringen blev derfor undergurten udsat for tryk, og tværnittet måtte afpasses derefter. Den øvrige del af broen monteredes ved hjælp af faste stilladser.

De for stræk udsatte strævere og vertikaler er overalt gjorte af øiestænger. De for tryk udsatte strævere har kasseform og er sammensatte af plader og vinkeljern med de åbne sider forgitrede. Eftersom det passer i konstruktionen er vinkeljernene anbragte på den ydre eller indre side af pladerne. (Smlgn. knudepunkterne K og M).

De vertikaler, der går fra strævernes krydsningspunkter op til overgurten for at afstive denne, bestaar alle af 4 forgitrede vinkeljern. (Se knudepunktet L.)

Hovedbærerne er afstivede i tværretningen formedelst stive, af plader og vinkeljern sammensatte rammer, der er forte saa langt ned, som lysprofilen tillader. Disse tværafstivninger ligger i trykstrævernes skråplaner og har for mellempunkterne den i den høire del af tværnittet

viste form. Tværafstivningerne mellem endestræverne af de ophængte bærere og af konsolbærerne samt mellem de over oplagerne C, D og G sammentræffende strævere er desuden forstærkede med plader, der går langs stræverne helt ned til undergurten. I hovedvertikalerne over de nævnte oplagere er endvidere pladerne nedentil fast sammennaglede med tværbærerne, så at på disse steder danner afstivningen en lukket ramme af den form, den venstre del af tværsnittet viser. (Smlgn. detaljpunktet D.)

Endestræverne ved H er udsat for stræk alene og er derfor dannet af øiestænger. Men for her at kunne befæste tværafstivningerne er der mellem øiestængerne indskudt en af plader og vinkeljern sammensat stiv konstruktionsdel, til hvilken tværafstivningen er fastnaglet. (Smlgn. detaljpunktet H.)

I hver af gurterne er anbragt et vindfakværk, hvis knudepunkter falder sammen med det vertikale fakværks knudepunkter. Horisontaldiagonalerne er øiestænger af flad- eller rundjern, som ved hjælp af bolte er befæstede til knudeplader. Disse sidste er fastnaglede til gurterne, de i den nedre gurt på dennes underside, de i den øvre gurt på dennes overside. Hvor overgurten bestaar af øiestænger, er trykstræverne forlængede, så de rage lidt op over øiestængerne, og knudepladerne er da befæstede til enderne af dem ved hjælp af vinkeljern. Horisontaldiagonalerne er de eneste justerbare dele i hele broen. Vindfakværket i overgurten af de ophængte bærere ophører ved disses skrå endestrævere, og de i fakværket virkende horisontale kræfter overføres til det nedre horisontalforband hovedsagelig gennem de mellem endestræverne anbragte stærke tværafstivninger. Det nedre horisontalforband går kontinuerligt over hele broen.

Afstanden mellem de sekundære langbærere er 2,438 m. De er anbragte mellem tværbærerne og befæstede til disse ved hjælp af vinkeljern.

K er et af undergurtens hovedknudepunkter. I disse er tværbærerne befæstede til en i -form bøiet plade k, der hviler direkte på boltene og således overfører belastningen på hovedfakværket. Pladen er i midten afstivet med en væg l, af hvilken der på siderne nedentil er fjernet så meget material, at stræverne kan gå forbi. Langbærerne holder tværbærerne i opret stilling.

N er et af undergurtens sekundære knudepunkter. Her er tværbæreren ved hjælp af plade og bolt ophængt i de vertikale øiestænger.

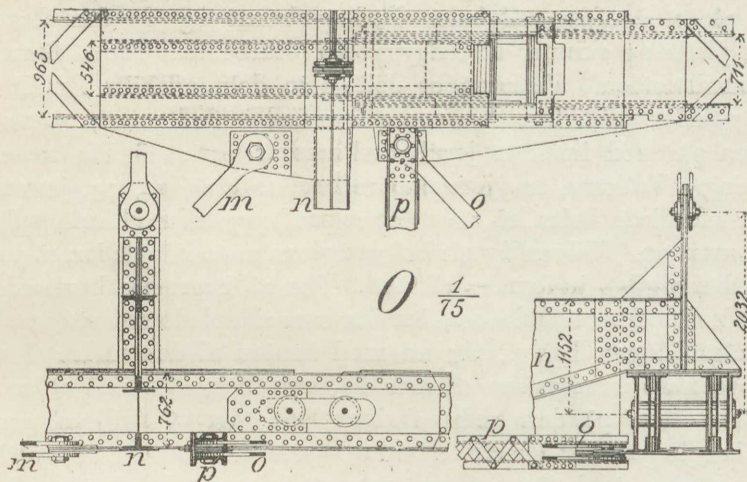
Alle stivt konstruerede gurter er i værkstedet naglede sammen i længder = den dobbelte feltlængde (17,208 m.) og skjødte i de sekundære knudepunkter. Skjødordningen er som vist i knudepunktet N.

M er et krydsningspunkt af stræverne. De samme konstruktionsdele er i begge projektioner betegnede med samme bogstaver.

Knudepunktet L viser befæstelsen af de vertikale afstivninger til overgurten og tillige den bevægelige skjød ved overgangen fra den ophængte bærer til konsolarmen. I skjøden er gurterne stukne ind i hinanden, og forbindelsen tilveiebringes ved bolte i aflange huller.

Textfig. 76 viser den bevægelige skjød i undergurten (knudepunktet O.) Den er anordnet efter samme princip som skjøden i overgurten. Som

Fig. 76.



før nævnt overføres kraften fra det i overgurten af den ophængte bærer anbragte vindfakværk gennem tværafstivningerne til vindfakværket i den nedre gurt. Fra dette må altså hele vindreaktionen gennem den bevægelige skjød føres over til cantileverarmen. Skjøden er derfor lagt så nær enden af denne sidste som muligt. *m* er den yderste vinddiagonal og *n* den yderste tværbærer i cantileverarmen. I den ophængte bærer er *o* den første vinddiagonal og *p* den første tværforbindelse. Denne sidste må være for at holde begge gurter i den rigtige indbyrdes afstand. Den blev nøie indpasset, efterat broen var monteret. Fladerne af de i hinanden indgribende gurtdele af cantileverarmen og den ophængte bærer er bearbejdede nøiagtigt, så spillerummet er ubetydeligt. Vindreaktionen går nu fra den ene del over til den anden, idet den anstrænger den yderste del af cantilevergurten på bøining.

D er det bevægelige oplager af midtbæreren. Længdeforandringen kan udgjøre henimod 25 cm. Da oplagertrykket er stort og pillarerne forholdsvis slanke, så måtte der sørges for, at forskyvningen kunde gå for sig med mindst mulig modstand. Undergurten går kontinuerligt over oplageret. Trykket optages først af bolten, på hvilken stræverne og vertikalen hviler med sin halve omkreds. Plader, der griber om bolten — som ved de foregående broer — findes ikke. De er heller ikke nødvendige her, da kræfterne er så store, at hverken stræverne eller bolten kan løftes af fra underlaget. Som før nævnt, er stræverne ordnede så, at de hviler på bolten i de ydre mellemrum mellem gurtens vertikalplader. De to yderste vægge af vertikalen hviler på bolten udenfor undergurten, de to mellemvægge er anbragte i det midterste mellemrum af undergurtens

vertikalplader. Bolten hviler i en sko af støbestål, og trykket optages af 6 ribber, der er anbragte direkte under væggene af stræverne og vertikalen. Skoen er med bolte befæstet til et af plader og valsede **I**-bjælker dannet underlag, gennem hvilket trykket overføres på segmentvalserne. Disse sidste hviler på et system af jernbaneskiner, der er fastnaglede på en kraftig stålplade. Både valserne og de dem berørende flader af plade og skinner er omhyggeligt bearbejdede for at formindske friktionsmodstanden. Valserne er delte i to dele, adskilte i midten ved to føringsplader, af hvilke den ene griber ind i pladen ovenpå valserne, den anden går ned imellem jernbaneskinerne for at forhindre en sideforskyvning. Valserne er gjennemborede efter længden, og gennem hullerne går afdreiede bolte, så at valserne paa begge sider af føringspladerne arbejder sammen. Udvendig går boltene gennem to sideplader, så valserne holdes i den rigtige indbyrdes afstand. For at begrænse bevægelsen og hindre valserne fra at falde om, har den øvre sideplade ved enderne hager, der i endestillingen lægger sig an mod kanten af den undre sideplade. For at begrænse bevægelsen af den del, som ligger ovenpå valserne, er der mellem disse på den nedre føringsplade lagt et fladjern, som ved enderne har hager, der i endestillingen ligger an mod den øvre stålplade. Alt det nu nævnte hviler på en svær støbejernsstol, gennem hvilken trykket overføres på pillarmurværket. Støbejernstolen er sat sammen af fire dele, der med bolte er forenede til et helt.

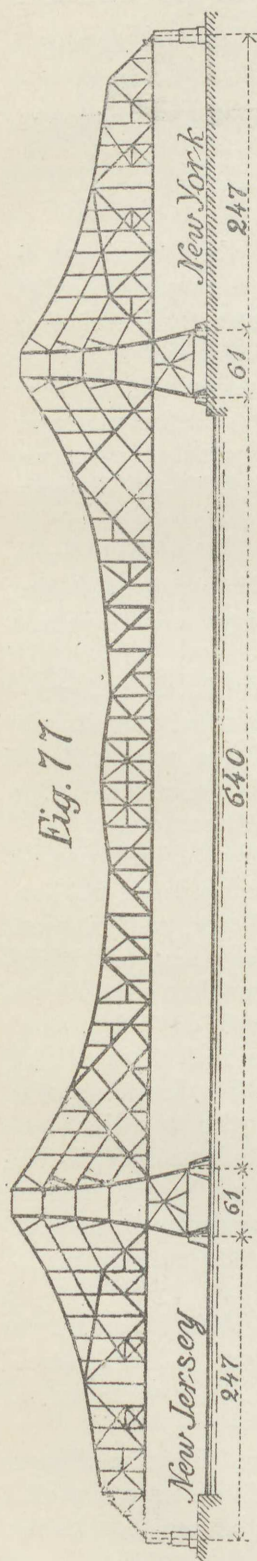
Ved de faste oplagere C og G er **I**-bjælker, valser og skinner erstattede med en støbejernstol, som tværsnittet ved C antyder. Alt det øvrige er som ved det bevægelige oplager.

Detaljepunktet H viser forankringen af broens østre ende. Pillaren her hviler på en betonklods, og i denne er indlagt en platform af valsede **I**-bjælker, fra hvilken forankringsboltene g af 89 mm. diameter er førte op igennem murværket til pillarens overflade. Pladen r ligger ovenpå pillarmurværket, mod hvilket den holdes nede ved hjælp møtrikerne s . Den øverste del af ankerboltene har lidt mindre (79 mm.) diameter end den øvrige del og tjener til at holde fast tværstykkerne t , der optager boltene. Over pillaren består forankringen af fire svære stålstænger u med huller i begge ender for boltene. Efterat alt var justeret, anbragtes kilerne v for at forhindre en bøining af ankerboltene.

Ved denne anordning kan alle opad rettede kræfter overføres til murværket, og en forskyvning i broens længderetning kan gå for sig. For at optage de horisontale sidekræfter anbragtes i midten af pillaren en opsats af stål, som er forankret i murværket. Oventil ligger den an mod føringer, der er befæstede til midten af endetværbæreren, så at en forskyvning til siden, men ikke i længderetningen, forhindres.

De ikke tilgængelige dele af forankringen, nemlig forankringsboltene og platformen af **I**-bjælker, er omhyggeligt omgivne med cement for at beskyttes mod forrustning.

Blandt de projekter, der i den senere tid er komne frem i anledning



af en forbindelse mellem New York og New Jersey over North River, findes også en cantileverbros med en spændvidde af 640 m., udarbejdet af Union Bridge Co. Fig. 77 viser det schematiske udseende af broen. Den er beregnet på at føre 6 jernbanespor, og dens underkant er omtrent 46 m. over flodens højeste vandstand. Brokompaniets omkostningsoverslag går op til 22 000 000 dollars. Dette projekt blev dog ikke antaget af autoriteterne, da man frygtede for, at de i floden stående pillarer vilde blive for generende for den livlige trafik.

VI. Buebroer.

Som før nævnt anvender amerikanerne med forkjærlighed statisk bestemte systemer, og man finder derfor ikke mange buebroer derover.

Til de mest bekendte hører den i fig. 78 schematisk fremstillede buebro, der fører over Mississippi ved St. Louis. Buen har faste oplagere, er dannet som et fakværk og ikke afstivet mod brobanen. Pilløiden er $= \frac{1}{3}$ af spændvidden omtrent. I hver åbning er der 4 parallelle, ligedannede buer, hvoraf de to yderste befinder sig i en afstand af 13,72 m. fra midte til midte.

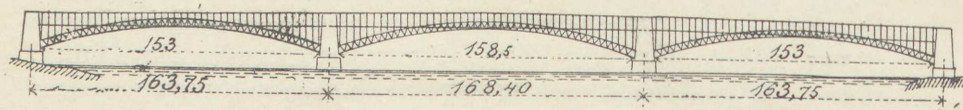
Broen har to etager. I den nedre etage, der ligger i højde med den nedre buegurt, er der anbragt to jernbanespor. Den øvre etage bærer en almindelig gadekjørebane af træ.

Buegurterne består af stålrør, der er sammensatte af 6 cylindriske segmenter, som tilsammen danner det lukkede, rørformige tværsnit. Stræverne i buen udgøres af forgitrede fladjern, og de vertikale stændere, der bærer brobanen, består af forgitrede **L**-jern. Forbindelsen i knudepunkterne sker ved hjælp af bolte.

Broen byggedes i 1873 og er den første bro i Amerika, ved hvilken der til hovedkonstruktionsdelene anvendtes støbestål. Materialet er meget hårdt. De tilladte maximalspændinger er: for tryk 2,0 t. pr. cm.², for stræk 1,6 t. pr. cm.².

Det valgte rørformige tværsnit af buen har vel et stort træghedsmoment og er derfor godt egnet til at modstå tryk. Men det har den store ulempe, at det indre ikke er tilgængeligt for inspektion, så man kan ikke vide, hvordan tilstanden egentlig

Fig. 78



er. Ved detaljforbindelserne kan der også gjøres adskillige bemærkninger, så at anordningen i det hele taget ikke kan siges at være særdeles heldig.

I 1888 byggedes en buebro over Mississippi i Minneapolis. Det er en gadebro med to spænd à 78,6 m. og en bredde af 12,2 m. Pilhøiden er omtrent $\frac{1}{5}$ af spændvidden. Antallet bærevægge er sex. Buen, der er sammensat af plader og vinkeljern, har 3 charnierer. Brobanen ligger ovenpå buen, og belastningen overføres på denne ved vertikale stændere.

Blandt de amerikanske buebroer indtager den i 1886—89 byggede Washington bro i den nordlige del af New York en fremragende plads. Den er fremstillet på bl. XIV. Den fører over Harlem River (en sidearm af North River) og danner en fortsættelse af den 181de gade, idet den forbinder den 10de avenue på vestsiden af Harlem River med Aqueduct avenue på dennes østside.

Som fig. 1 viser, har broen 2 hovedåbninger à 155,488 m., overspændte med stålbuier. Til disse slutter sig på begge sider halvcirkelhvælv med en spændvidde af 18,2 m. Det sidste hvælv ved den østre ende af broen har en spændvidde af 17 m., fører over en gade og er formet efter en kurvebue for at få tilstrækkelig fri høide over trottoirerne.

Broen er 24,384 m. bred, hvoraf 15,24 m. kommer på kjørebanen og 4,572 på hver af trottoirerne. Brobanens høide over vandspeilet er ca. 46 m.

Alle pillarer er byggede på fjeld. De små pillarer mellem stenhvælvene har en tykkelse af 3,96 m. og består af massiv mur helt igjennem. De store pillarer, der i høide med bueoplagerne har en tykkelse af 12,2 m., består af beton (1 del cement, 2 dele sand og 5 dele sten) med granitbeklædning. Midtpillaren, der måtte føres ned til et dyb af 12,4 m. under vandspeilet, blev fundamenteret pneumatisk, da dette ansåes at være det sikreste. Den del af de store pillarer, der er under bueoplagerne, er massiv, medens der i den øvre del er hulrum i det indre.

Også over stenhvælvene er der hulrum, idet der i broens længderetning imellem frontmurene er anbragt fire, 1,2 m. tykke mellemvægge af brudstensmur. De så dannede hulrum er overspændte med teglstenshvælv, der direkte bærer brobanen.

Buerne over hovedåbningerne er pladebuier af blødt stål. De er formede efter parabler og har ved oplagerne charnierer. Afstanden mellem disse er $= 155,051$ m. fra midte til midte; pilhøiden er $= 27,381$ m. eller $= \frac{1}{5,7}$ af spændvidden.

Tværbærerne er anbragte i en afstand af 4,555 m. I midten af buen hviler de på denne, i den øvrige del bæres de af vertikale stændere, der overfører belastningen på buen. De sekundære langbærere, der består

af valsede **I**-bjælker, ligger på tværbærerne og har under kjørebanen en højde af 381 mm., under trottoirerne en højde af 267 mm. Brobanens konstruktion er før omtalt. (Se fig. 1, side 9).

De vertikale stændere består af to forgitrede, 267 mm. høje **L**-jern. De er i broens længderetning forbundne med små gitterbjælker i den øvre ende. De høje stændere er desuden — som antydnet i opridset — i et eller to mellempunkter afstivede på lignende måde for at reducere knækningslængden.

I hver åbning er der 6 parallelle buer. Fig. 2 a—c viser anordningen af tværafstivningen. De horisontale forbindelsesdele består af 4 vinkeljern, hvoraf de, der er anbragte i buegurterne, er anordnede som gitterbjælker. De diagonale forbindelser udgøres af justerbare oiestænger af rundjern.

Fig. 3 viser horisontalafstivningen af buerne. Der er et horisontalforband for hver af buegurterne. Det øvre forband er i fig. 3 betegnet med fuldt udtrukne linier, det nedre med punkterede linier. Som fig. angiver, føres for hvert buepar kræfterne i vinddiagonalerne hen til et punkt midt imellem buerne. Herfra overføres reaktionen til bue-oplagerstolene gennem til disse befæstede horisontale vinkeljern. Befæstelsen sker med bolte i aflange huller, så at en forskyvning i tværretningen er forhindret, medens en liden bevægelse i broens længderetning kan finde sted, når buen dreier sig om charnieret.

Vinddiagonalerne består af vinkeljern, der er befæstede til knudeplader i buegurterne. (Se fig. 4 c). I brobanens plan findes intet horisontalforband, da brobanekonstruktionen selv er stiv nok.

Fig. 4 a—d viser detalj af buen. Ståpladen har en højde af 3,378 m. og en tykkelse af 9,5 mm. Kun i det første felt nærmest oplagerne er ståpladens tykkelse = 19 mm. Flenserne er dobbelte, og fig. 4 d viser i detalj deres konstruktion. Variation i tværsnitsarealet frembringes ved at forandre horisontalpladerne i de ydre flenser. Antallet af plader er 3 og 4, deres tykkelse er fra 12,7 til 22 mm., medens bredden er konstant og = 508 mm. Fig. 4 a—c viser også befæstelsen af de i et knudepunkt af buen sammentræffende stænger samt skjøden af de enkelte buesegmenter. Disse sidste gjordes i værkstedet færdige i længder modsvarende afstanden mellem de vertikale stændere. De mod hinanden stødende flader bearbejdedes muligst exakt. For ståpladens vedkommende sker forbindelsen mellem de enkelte buesegmenter formedelst vinkeljern på begge sider af skjødfugen. Skjøden af vinkeljernene og horisontalpladerne i flenserne er dækket med lasker på almindelig måde.

Fig. 5 a—c viser oplagerets konstruktion. Flenserne er her boiede, så de lidt efter lidt nærmer sig til hinanden, og resultanten af anstrængelsen i buen overføres formedelst et mellemstykke af stål på en charnierbolt af 457 mm. diameter. Denne sidste hviler i en oplagerstol, der består af 5 med kraftige vinkeljern afstivede pladevægge. Oplagerstolens basis dannes af 2 plader af 3,962 m. længde, 1,320 m. bredde og 19 mm. tyk-

kelse. For at udfylde de små ujævnheder i underlaget er der mellem stenen og pladerne lagt asfaltfilt.

Oplagerstolen er befæstet til muren ved hjælp af 4 stenbolte af den form, fig. 6 viser. Bolten er gjenget i sin nedre ende, hvor der er anbragt en kileformig — også gjenget — hylse *m*. Når møtriken trækkes til, sprænges den efter længden opskårne hylse *n* ud og presses fast mod væggene af borehullet. Dette sidste er ikke større, end at bolten bekvemt kan føres ind.

Som fig. 5 *a* viser, har buen tilsyneladende samme høide helt hen til pillarerne, og charnieret er ikke fremhævet specielt. Forbindelsen mellem buesegmentet og oplagerstolen sker ved hjælp af vinkeljernene *o*, der er faste til segmentet og griber på begge sider om pladen i oplagerstolen. For at en dreining af buen om charnieret ikke skal hindres, sker forbindelsen med oplagerstolen formedelst bolte i aflange huller, som antydet i fig.

Fig. 7 *a-f* viser, hvorledes brobanen er oplagret på pillarerne. Brobanekonstruktionen er i buens midte fast til denne, og derfor må de forskyvninger, der opstår på grund af temperaturvexlinger, kunne finde sted over pillarerne. Videre må vindtrykket på brobanen overføres til pillarmurværket.

Til dette øiemed er endelangbærerne og kuppelpladerne befæstede til en tværbærer *p*, der er lagt på pillaren så, at den kan forskyve sig i broens længderetning, men ikke i tværretningen. I en afstand af 20 cm. fra *p* er en anden tværbærer *q* (se fig. 7 *a*), der er befæstet til muren og desuden forankret, så den ligger fast. Mellem disse to tværbærere er et traug af en bøiet jernplade. Forskyves tværbæreren *p* i den ene eller anden retning, så giver trauget efter.

For at de horisontale kræfter skal kunne optages, er tværbæreren *p* lagt på en ramme, der er indmuret i den øverste del af pillaren. Rammens konstruktion er nærmere vist i fig. 7 *b-c*. Hver ramme består af de tværsover pillaren liggende **I**-bjælker *r*, der ved enderne er forbundne med **L**-jernene *s*. Rammen er endvidere formedelst boltene *t* forankret til et længere nede i pillaren indmuret system af **I**-bjælker, som fig. 7 *a* & *f* viser. På hver piller ligger symmetrisk med hensyn til midten to sådanne rammer i en afstand af omtrent 3,8 m. og indbyrdes forbundne med boltene *u*. Ovenpå **L**-jernene *s* er fastnaglet et sæt plader *v*, og på undersiden af tværbæreren *p* er befæstet et tilsvarende sæt plader *x*. De mod hinanden stødende flader af disse plader er høvede, så spillerummet *y* ikke er større end praktisk nødvendigt.

Den beskrevne oplagring af tværbæreren *p* tillader altså en forskyvning i broens længderetning, medens de horisontale sidekræfter gennem rammen overføres til pillarmurværket.

Som før nævnt har anordningen den ulempe, at asfalten stuer sig over trauget, og kjørebanen her er ikke i orden.

Fig. 8 viser overgangen fra bro til piller for trottoirernes vedkom-

mende. Trottoirbanen består af stenheller. Åbningen mellem tværbærerne p og q er her overdækket med en til den ene bærer befæstet riflet jernplade.

Kontrakten for bygningen af broen lød på en sum af doll. 2 055 000, hvoraf doll. 845 000 for metalkonstruktionen. Færdig koster broen ialt doll. 2 851 684,55, af hvilken sum doll. 2 648 784,55 betaltes til kontraktørerne. Resten gik med til ingeniør- og administrationsudgifter.

VII. Arbeidets udførelse i værkstedet.

Nogle kortfattede notiser angående broarbeidets udførelse i amerikanske værksteder turde ikke være uden interesse.

Endskjønt den amerikanske konstruktionsmethode fordrer mere og exaktere arbeide end den europæiske, og endskjønt arbeidslønnen derover er høiere end hos os, så er prisen på det færdige bromaterial dog ikke meget forskjellig fra den, der betales i Europa. Grunden hertil må søges i den udstrakte anvendelse af arbeidsmaskiner, i de fortræffelige arbeidsmethoder og i, at værkstederne er specielt indrettede på masseproduktion.

Prisen på det færdige bromaterial er naturligvis afhængig af mange omstændigheder. I 1893 var den gjennemsnitlig 3—4 cts. pr. pound, modsvarende omtrent 250—330 kr. pr. ton.

Ved målinger, der skal være meget nøiagtige, anvendes målestokke af jern, og der sørges altid for, at disse har samme temperatur som arbeidsstykket.

For at overføre tegningen på arbeidsstykket anvendes meget modeller og chabloner af træ. I disse bores huller, hvor naglerne skal være. Chablonerne lægges på arbeidsstykket, og naglehullerne markeres med kjøreren.

Øiestangerne, der spiller en så vigtig rolle ved alle større amerikanske broer, gjøres på forskjellig måde, eftersom materialet er sveisjern eller stål (smeltjern).

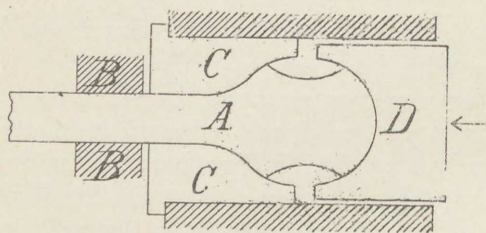
Er stangen af sveisjern, så dannes først under damphammeren et uregelmæssigt, tilstrækkelig stort hoved. Dette sker enten ved at stuke stangenden eller ved at fastsveise firkantede jernstykker på den ene eller på begge sider af samme. Undertiden anvendes både stukning og sveisning samtidigt. Efterat stangen er opvarmet pånytt, lægges den i et gesænk og får nu den nøiagtige form ved hjælp af damphammeren. Sjældnere anvendes hertil en kraftig presse.

Det er klart, at fremstillingen af et sådant hoved af et langfibret material som sveisjern er en vanskelig sag. Ved stukningen har fiberne tendens til at skilles ad, og den bagerste del af øiet blir svag. Dette er grunden til, at hovedet får en aflang form, så der er mere material bagom bolten end på siderne. Videre kan det jo hælde, at sveisningen

selv ikke er så ganske vellykket. Arbeidet må derfor udføres meget omhyggeligt og af øvede folk.

Er stangen af stål (smeltjern), så kan man ikke sveise fast specielle stykker, men er henvist til stukningen alene for at få material nok til at danne hovedet. Principet for de i dette tilfælde anvendte maskiner er angivet i fig. 79. A er stangen, der klemmes fast mellem stykkerne

Fig. 79



B. C er faste sidestykker, og D er et bevægeligt stempel, der drives frem i pilens retning af en kraftig hydraulisk presse. På stangens over- og underside er anbragt slutstykker, så at hovedets form er begrænset til alle sider. I detalj er anordningen forøvrigt forskjellig. Ved en del maskiner er stemplet D alene bevægeligt. Men da dette i så

tilfælde må udføre hele stukningsarbeidet, vil stangen stukes først i den ydre ende. Videre er en stor kraft nødvendig, og klemmerne B må være meget stærke. Ved andre maskiner er foruden stemplet D også de over- og underliggende stykker eller blot det overliggende bevægeligt i pilens retning. Derved bringes materialet til at stuke sig også mod sidestykkerne C, og stangen har i halvfærdig tilstand den i fig. antydede form.

Afstanden mellem over- og understykket er så stor, at hovedet blir 4–5 mm. tykkere end den oprindelige stang. Denne forøgelse af tykkelsen bringes senere væk ved at føre hovedet en gang frem og tilbage mellem et par langsomt roterende valser. Den forlængelse af hovedet, som derved forårsages, er der taget hensyn til ved tildannelsen af stemplet D og sidestykkerne C, så at hovedet stukes lidt kortere end det tilslut skal være. Eftervalsningen anvendes for at komprimere metallen og frembringe en glat og jævn ydre flade.

Efter denne methode gjøres hovedet altså færdig med en gang. Arbeidet blir godt; men de maskinelle indretninger er temmelig kostbare. Mange fabrikanter anvender derfor følgende methode, der ikke forlanger så komplicerede og kostbare maskiner.

Stangens ende stukes først — omtrent som nys anført —, men der lægges ikke nogen synderlig vægt på, at hovedets form blir exakt. Derefter smedes stangenden — eventuelt efter fornyet opvarmning — under damphammeren i gesænker, så at hodets form blir nøiagtig. Sjældnere anvendes til denne sidste formgivning hydrauliske presser.

Erfaringen har vist, at metallen under stukningen gjerne vil antage bølgeform, især når hovedet er stort og stangen forholdsvis tynd. I så tilfælde gjør man derfor ikke hele stukningen på engang, men lader den fuldføres i et par omgange. Eller man lægger to stænger på hinanden og stuger dem begge på en gang for at få større materialtykkelse at ar-

beide med. Ved et par værker har af samme grund de over- og underliggende slutstykker i stukningsmaskinen langsgående, lidt fremspringende kanter i midten. Disse griber fat i og fører stangenden ved stukningen og bevirker, at metallen flyder bedre ud.

Ingeniør Kloman i Pittsburg har i flere år fabrikeret øiestænger på følgende af ham patenterede måde. Stangen udvales i et universalvalseværk, men så, at den ikke passerer helt igjennem dette, uden valseretningen kastes om, medens stangen endnu er imellem valserne. Den midterste del af stangen udvales på denne måde til de forlangte dimensioner, medens der ved enderne blir så meget material igjen, som er tilstrækkeligt til at danne hovedet i et gesænk under damphammeren eller i en hydraulisk presse. Metoden må betegnes som meget fuldkommen, men er sandsynligvis temmelig vanskelig. Den er heller ikke bleven anvendt af andre fabrikanter.

Er nu hovedet fremstillet på den ene eller anden måde, så pudses det af, og hullerne lokkes med en noget mindre diameter end den, de skal have i den færdige stang.

Når konstruktionsdele af stål må underkastes en partiel opvarmning -- så som tilfældet er med øiestænger --, så har dette en ugunstig indflydelse på materialet. Men denne ophæves ved senere at opvarme hele konstruktionsdelen til en muligst jævn rødvarme — 500° — 700° C. — og derefter lade den afsvale langsomt. Opvarmningen sker i specielle ovne.

Er nu dette arbejde for øiestængernes vedkommende udført, så rettes de og derefter finbores hullerne, så de får den foreskrevne diameter. Dette sidste arbejde sker i specielle boremaskiner, der må kunne indstilles exakt, da den forlangte nøiagtighed er meget stor. Stænger, der arbejder sammen — som f. ex. de til et undergurtfelt hørende — lægges på hverandre og bores på en gang og som regel i begge ender samtidig.

Ved rundstænger, der forbindes med møtriker, stukes som før nævnt stangenderne der, hvor gjængerne skjæres ind. Denne stukning udføres vanligen ved hjælp af hydrauliske presser. Stangenden opvarmes og lægges i et gesænk, der har en form modsvarende den, stangenden skal have. Ovenpå lægges et ligedan gesænk, der presses til, så stangen fastholdes strax udenfor den del, som skal stukes. Forfra presses en kolbe ind, der stuker metallen og bringer den til at fylde ud formen.

Ingeniør Kloman i Pittsburg anvender for kvadrat- og rundjern samme metode som nys anført for øiestænger. Blot den midterste del af stangen udvales til de ønskede dimensioner, idet valseretningen kastes om, inden hele stangen har passeret gennem valserne. Derved blir der mere material igjen ved enderne, som gjænges til en skrue eller smedes ud til et fladt hoved og bores, eftersom stangen skal have den ene eller den anden form.

Foruden de allerede nævnte damphammere, gesænker og presser for at tildanne øiestænger og lignende konstruktionsdele er følgende de vigtigste arbejdsmaskiner.

Maskiner for at rette stænger og plader. Til stænger anvendes vanligen excenterpresser, til plader flere valser efter hverandre, gennem hvilke pladen føres. Retningsarbeidet udføres i kold tilstand.

Lokmaskiner anvendes meget for som allerede nævnt at lokke hullerne for øieboltene og især for at fremstille naglehullerne. Foruden den vanlige konstruktion, der lokker et hul ad gangen, findes der i enkelte værksteder lokmaskiner, der presser en hel række huller på en gang. En anden sort maskiner er indrettede så, at de selv skyver arbejdsstykket frem en længde modsvarende nagleafstanden, når et naglehul er lokket. Maskinen kan indstilles for forskellige nagleafstande, og en forudgående markering af naglehullerne er ikke nødvendig.

Lokningen har som bekjendt flere ulemper med sig. Stangen strækkes, så at naglehullerne ikke passer exakt, når stængerne efter lokningen lægges på hverandre. Den voldsomme behandling gjør, at der i hullets omkreds opstår små revner, og materialet ødelægges her. Disse ulemper kan hæves, når hullerne opbrosjes, så materialet nærmest omkring hullet fjernes. Videre må de ved lokningen opståede skarpe kanter borttages, og de yderste ender af naglehullerne affases for at danne overgangen fra naglens skaft til hovedet. Til disse arbejder anvendes hyppigt specielle

Brosjningsmaskiner, der driver brosjen (oprommeren). De er små, lette boremaskiner, der er ophængte i værkstedstaget, så de bekvemt kan flyttes og anbringes hvorsomhelst.

Boremaskiner anvendes af forskjellig konstruktion. De, med hvilke hullerne for øieboltene opbores, har en sikkert ført vertikal spindel, i hvilken er fastkilet et horisontalt skjæreværktøj, der ligner et høvlejern. Det skjærer i to diametralt liggende punkter paa en gang. Boltehullerne i trykstænger presses ligesom i øiestængerne først i de enkelte dele med en noget mindre diameter end den, det endelige hul skal have. Derefter sættes delene sammen, og hullet bores nøiagtigt i alle dele på en gang. Er ved gurter skjøden i selve knudepunktet, så laskes først de ellers færdige, i enderne exakt bearbejdede dele sammen, og derefter bores hullerne i alle vertikalplader på en gang.

I almindelighed lokkes naglehullerne. Boring anvendes kun, når det specielt forlanges, hvilket vanligen er tilfældet, når materialet er hårdt stål. Hullerne for de nagler, der befæster tværbærerne og de sekundære langbærere, bores også i regelen efter chabloner, for at de skal passe exakt ved monteringen. Ellers lokkes hullerne med en 2,5–4,5 mm. mindre diameter, end naglerne har, og opbrosjes derefter 4–6 mm., dog altid så, at mindst 1,5 mm. ($\frac{1}{16}$ ") metal borttages af hullets væg.

Klinkemaskiner anvendes overordentlig meget. I regelen forlanges, at alt klinkningsarbejde skal udføres med maskiner, såfremt det er muligt. Klinkemaskinernes konstruktion er forskjellig; en del efterligne håndarbeidet, idet naglehovedet slæses; ved andre presses det. De sidste synes at foretrækkes, idet der ofte i forskrifterne for arbejdets udførelse udtrykkelig forlanges, at trykket skal virke nogen tid, efterat naglehovedet er

dannet, og ikke ophøre strax. For mindre arbejdsstykker, der ikke er vanskelige at bevæge, anvendes vanligen faste klinkemaskiner. For store arbejdsstykker bruges transportable, i kjættinger ophængte maskiner. Med øvede folk går klinkningsarbeidet meget fort.

Naglens diameter er 1,5 mm. ($\frac{1}{16}$ ") mindre end hullets diameter. Består de dele, der skal sammenklinkes, af svejsjern, så er naglerne også af dette material. Består delene af stål, så anvendes blødt stål som naglematerial. For at reducere arbeidet ved monteringen gjøres de enkelte dele af en konstruktion i værkstedet færdige i så store længder, som det for transportens skyld går an. Er de enkelte dele lagte sammen og hullerne opbrøjsede, så slås naglerne, uden at delene tages fra hverandre.

Høvle- og fræsemaskiner anvendes for nøiagtig at planere endefladerne af sammenstødende dele. Som før nævnt er nemlig skjødlaskerne i trykstænger vanligen forholdsvis svage. De har kun at holde de enkelte dele sammen, og den egentlige kraftoverføring sker ved de hinanden berørende flader. Disse må derfor bearbejdes exakt, så at de overalt ligger an mod hinanden. Ved stål afhøvles i regelen alle skårne og klippede kanter for at fjerne den uheldige indflydelse af den voldsomme behandling.

Nogen sammenpasning af hele broen — som i Europa almindeligt — forekommer sjelden, heller ikke efterarbejde. Man stoler på, at arbeidet er så nøiagtigt udført, at nogen videre sammenpasning ikke er nødvendig. Erfaringen viser også, at dette vanligen er tilfældet. De færdige dele overstryges med linoljemaling, de høvlede, borede og afdreiede flader med en blanding af blyhvidt og talg og transporteres så til bestemmelsesstedet.

D. Grundlaget for beregningen.

I. Belastninger.

Med hensyn til de belastninger, der lægges til grund for broernes beregning, gives der i Amerika ingen almengyldige bestemmelser. Det er den, der bygger broen, — enten det nu er et jernbaneselskab eller en kommune —, som har at afgjøre alt herhenhørende. Af nogle fremragende broingeniører er der udarbejdet særskilte „Specifikationer for broer,“ der anvendes ganske meget. I disse er belastningerne inddelte i forskellige klasser, og efter omstændighederne lægges den ene eller den anden klasse til grund for beregningen. Da disse specifikationer turde give en god idé om de vanligen anvendte belastningsforholde, skal der i det følgende meddeles uddrag af et par af dem.

1. Jernbanebroer.

a. Tilfældig belastning.

For anvendtes som regel istedetfor den direkte togbelastning en med denne ækvivalent, jævnt fordelt belastning af passende størrelse. Denne methode anvendes endnu for enkeltheds skyld ved nogle få jernbaner. Belastningen varierer fra 4,5 til 6,0 t. pr. l. m. for store og middelstore spændvidder. For små spændvidder er belastningen større.

Ingeniør Morison, en af Amerikas mest fremragende brobyggere, går ud fra en jævnt fordelt belastning = 5,95 t. pr. l. m. for spændvidder af 36,6 m. (120') og derover. For spænd af 6,1 m. (20') længde fordobles denne belastning og for mellemliggende spænd interpoleres retliniet.

Da virkningen af en sådan jævnt fordelt belastning især for skjærkræfternes vedkommende er forskjellig fra virkningen af den direkte togbelastning, så bruger man ved nogle jernbaner — for at få bedre overensstemmelse med virkeligheden — at føie til den jævnt fordelte belastning én eller to koncentrerede kræfter, der skal repræsentere merbelastningen fra lokomotivet. Disse tillægskræfter har en størrelse fra $1\frac{1}{3}$ til $1\frac{1}{2}$ gange lokomotivets axeltryk. Denne methode anvendes dog ikke meget.

For det meste lægges til grund for beregningen en belastning be-

stående af 2 svære lokomotiver med en derefter følgende jævnt fordelt belastning, som repræsenterer vognene i toget. For lokomotivernes ved-

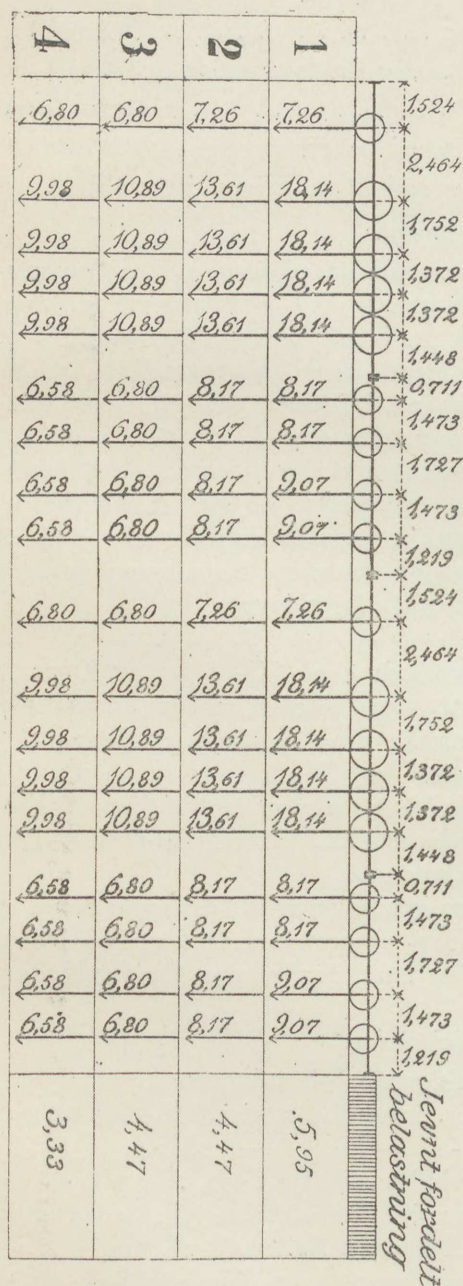
kommende regnes med de enkelte axeltryk. Ved én jernbane er trykket på drivhjulsaxlerne = 20,4 t., hvilket også er den største forekommende værdi. Den jævnt fordelte belastning varierer fra 3,33 til 6,25 — mest forekommer 4,47 eller 5,95 — t. pr. l. m. bro.

Fig. 80 angiver belastningen efter ingeniør Coopers specifikationer. Axelafstandene er angivne i meter, axeltrykkene i ton og den jævnt fordelte belastning i ton pr. l. m.

Disse belastningssystemer benyttes meget, især nr. 2 og 3. Et stort antal baner anvender lokomotiver, der med hensyn til axelafstande og axeltryk afviger meget lidet fra systemerne nr. 2 og 3, så at disse kan ansees som normalbelastninger.

Ved nogle baner anbringes den jævnt fordelte belastning både foran og efter de to lokomotiver.

Cooper tager ikke hensyn til de af den bevægelige belastning frembragte rystelser. Ingeniør Bouscaren forlanger i sine specifikationer, der, hvad belastningerne angår, ikke afviger meget fra Coopers systemer nr. 1, 2 og 4, at de anstrængelser, som fremkaldes af den bevægelige belastning skal forøges med følgende procent-satser for at tage hensyn til rystelserne.



1. For de klinkede forbindelser af tvær- og langbærere 100 %

Hertil kommer vindtrykket på toget ($300 \text{ } \mathfrak{T}$ pr. l. fod = 446 kg. pr. l. m), der må behandles som en bevægelig belastning. Horisontalforbandet beregnes da uden videre for disse belastninger.

Ved beregningen af pillarerne for bukkebroer bestemmes belastningerne også ofte på sidstnævnte summariske måde. I Coopers specifikationer forlanges således, at pillarerne foruden de fra egenvægten og den tilfældige belastning kommende anstrængelser skal kunne modstå følgende vindbelastninger.

Broen fuldt belastet.

Vindtryk i høide med sporet $650 \text{ } \mathfrak{T}$ pr. l. fod modsv. 967 kg. pr. l. m.
af brobærereren.
Vindtryk på hver søile $62,5 \text{ } \mathfrak{T}$ pr. l. fod modsv. 93 ,, - —
af søilens høide.

Broen ubelastet.

Vindtryk i høide med sporet $600 \text{ } \mathfrak{T}$ pr. l. fod modsv. 893 kg. pr. l. m.
af brobærereren.
Vindtryk på hver søile $112,5 \text{ } \mathfrak{T}$ pr. l. fod modsv. 167 ,, - —
af søilens høide.

Pillarafstivningerne i broens længderetning må kunne udholde den friktionskraft, der opstår, når et tog bremses og pludselig stanses på broen. Friktionskoefficienten mellem hjul og skinne sættes til $0,2$. Det samme gjælder også for det faste bro-oplager.

Af de fire søiler, der danner en pillar, befæstes som før nævnt den ene til fundamentmurværket, medens de tre andre kan glide på fodpladerne for temperaturforandringernes skyld. De nederste horisontale forbindelser mellem søilerne må derfor være så stærke, at de kan forskyve søilefoden, så diagonalerne ikke bøier sig eller blir slappe.

2. Veibroer.

a. Tilfældig belastning.

Denne retter sig efter de lokale forhold og broens spændvidde. Ved broer i byer, hvor tung trafik må forudsættes, lægges en større belastning til grund for beregningen end ved broer på landet. Videre formindskes vanligen den antagne belastning pr. fladeenhed af brobanen, når spændvidden tiltager. I det følgende anføres de belastninger, som Cooper og Bouscaren foreskriver i sine specifikationer. Broerne inddeles i tre klasser.

Cooper.

Bouscaren.

Klasse A. Broer i byer og forstæder, hvor tung trafik kan påregnes.

For spænd indtil $100' = 30 \text{ m.}$:	$100 \text{ } \mathfrak{T}$ pr. kvadr.fod, modsv. 488 kg. pr. m.^2 .
$100 \text{ } \mathfrak{T}$ pr. kvadr.fod, modsv. 488 kg. pr. m.^2 .	og
For spænd over $200' = 60 \text{ m.}$:	to koncentrerede laster à $4,536 \text{ t.}$ i
$80 \text{ } \mathfrak{T}$ pr. kvadr.fod, modsv. 390 kg. pr. m.^2 .	en afstand af $1,83 \text{ m.}$, målt i broens tværretning.

Cooper.

For mellemliggende spænd proportionalt. Eller

en dampveivalse af 13,6 t. vægt, hvoraf 5,44 t. på foraxelen, 8,16 t. på bagaxelen. Axelafstand = 3,35 m., valserne 0,5 m. brede, forvalserne i 0,762 m., bagvalserne i 1,83 m. afstand fra midte til midte.

Belastningen på hele broen dog ikke mindre end 2000 $\mathfrak{T}$ pr. l. fod modsv. 2976 kg. pr. l. m.

Bouscaren.

Klasse B. Broer i industriegne.

For spænd indtil 100' = 30 m.:

80 $\mathfrak{T}$ pr. kvadr.fod, modsv. 390 kg. pr. m.².

For spænd over 200' = 60 m.:

60 $\mathfrak{T}$ pr. kvadr.fod, modsv. 293 kg. pr. m.².

For mellemliggende spænd proportionalt. Eller

en koncentreret last af 7,25 t. på to hjulpar i 2,44 m. afstand.

Belastningen på hele broen dog ikke mindre end 1500 $\mathfrak{T}$ pr. l. fod, modsv. 2232 kg. pr. l. m.

80 $\mathfrak{T}$ pr. kvadr.fod, modsv. 390 kg. pr. m.²

og

to koncentrerede laster à 3,4 t. i en afstand af 1,83 m., målt i broens tværretning.

Klasse C. Broer på landet.

Samme belastning pr. arealenhed af brobanen som for klasse B. Eller en koncentreret last af 4,54 t. på to hjulpar i 2,44 m. afstand.

Belastningen på hele broen dog ikke mindre end 1200 $\mathfrak{T}$ pr. l. fod, modsv. 1786 kg. pr. l. m.

60 $\mathfrak{T}$ pr. kvadr.fod, modsv. 293 kg. pr. m.²

og

to koncentrerede laster à 2,268 t. i en afstand af 1,83 m., målt i broens tværretning.

Cooper tager ikke hensyn til rystelser fra trafikken, medens Bouscaren — på lignende måde som ved jernbanebroer — forøger den af den tilfældige belastning fremkaldte anstrængelse med følgende procentsatser.

1. For de klinkede forbindelser af tvær- og langbærere 50 %

2. For tvær- og langbærere samt for andre pladebjælker $25(1 - \frac{l}{38})$ „
hvor l = bærerens halve længde i meter.

3. For diagonaler og vertikaler af fakkværksbroer samt for soiler i pillarerne til bukkebroer $25(1 - \frac{l}{38})$ „
hvor l = stangens afstand i meter fra fakkværkets midte.

4. For gurterne af fakværksbroer $25\left(1 - \frac{l}{38}\right)$ „
 hvor l = den halve spændvidde i meter.
 Intet tillæg gjøres, såfremt i nogen af formlerne l er større end 38 m.

b. *Egenvægt.*

Denne bestemmes af dimensionerne for hvert enkelt tilfælde.

c. *Vindbelastning.*

Ved veibroer lægges til grund for beregningen samme vindtryk pr. arealenhed vindflade som ved jernbanebroer. Broens vindflade bestemmes også på samme måde. Den bevægelige vindflade regnes til 1,83 m.² pr. l. m. bro.

Mange ingeniører benytter dog ved veibroer ligesom ved jernbanebroer et midlere vindtryk pr. længdeenhed for beregningen af horisontalforbandet uden exakt at bestemme vindfladens størrelse for hvert enkelt tilfælde. Ingeniør Cooper foreskriver således i sine specifikationer:

Vindtryk på broen i hver gurt:

150 $\mathfrak{H}$ pr. l. fod modsv. 223 kg. pr. l. m.

Vindtrykket på den bevægelige belastning sættes også til

150 $\mathfrak{H}$ pr. l. fod modsv. 223 kg. pr. l. m.

og tænkes virke blot på det vindfakværk, der er anbragt i brobanen.

Videre må pillarerne af bukkebroer foruden den fra den vertikale belastning kommende anstrængelse kunne modstå følgende vindbelastninger.

Vindtryk i høide med brobanen 400 $\mathfrak{H}$ pr. l. fod modsv. 595 kg. pr. l. m.
 af brobæreren.

Vindtryk på hver søile 75 $\mathfrak{H}$ pr. l. fod modsv. 112 „ - -
 af søilens høide.

II. Tilladte spændinger.

Den tilladte spænding er afhængig af den måde, hvorpå konstruktionsdelen virker, og varierer hos forskellige konstruktører inden visse grænser. I det følgende meddeles et uddrag af forskellige specifikationer. Spændingerne σ er angivne i afrundede tal i kg. pr. cm.².

1. Strækspændinger.

	Sveisjern.	Stål.
I vindstræver	$\sigma = 1055-1400$	1260-1760
„ strækgurter, diagonaler og lign.	$\sigma = 500-840$	600-1010
Andre konstruktører anvender den Launhardt'ske formel. Således anvendes ved Keystone Bridge Co.		

for sveisjern $\sigma = 530\left(1 + \frac{P_{min}}{P_{max}}\right)$, for stål $\sigma = 660\left(1 + \frac{P_{min}}{P_{max}}\right)$,
 hvor P_{min} og P_{max} betyder den mindste resp. største kraft i stangen.

Ingeniør Cooper bestemmer tværsnitsarealet af hoveddelene i fækværkerne på følgende måde:

Konstruktionsdele.	Sveisjern.		Stål.	
	Veibroer.	Jernb.broer.	Veibroer.	Jernb.broer.
I strækgurter, diagonaler og lange vertikaler, når de gjøres af smedede øiestænger, på nettotværsnittet				
for bevægelig belastning $\sigma =$	700	560	840	670
„ egenvægt $\sigma =$	1400	1120	1690	1350
I strækgurter, diagonaler og lange vertikaler, når de gjøres af plader og façonjern, på netto-tværsnittet				
for bevægelig belastning $\sigma =$	650	530	780	630
„ egenvægt $\sigma =$	1300	1050	1560	1260

Tværsnittet fåes da på den måde, at det areal, der erholdes ved at dividere kraften fra tilfældig belastning med den tilhørende spænding, adderes til det areal, der erholdes ved at dividere kraften fra egenvægt med den tilhørende spænding.

2. Trykspændinger.

Når stangens længde er liden i forhold til tværsnittets mindste træghedsradius, så at knækning ikke kan finde sted, så ligger den tilladte trykspænding omtrent mellem følgende grænser:

Sveisjern.	Stål.
$\sigma = 630-800$	$840-1000 \text{ kg. pr. cm.}^2.$

For hårdt stål er den tilladte trykspænding endnu højere. Også Launhardts formel benyttes.

Dette tilfælde forekommer dog sjelden ved brokonstruktioner.

3. Knækningsformler.

Er stangens længde i forhold til den mindste tværdimension så stor, at der kan opstå fare for knækning, så må trykspændingen formindskes for at gøre stangen sikker. Til dette øiemed anvendes forskellige knækningsformler.

a. Gordons formler.

Dette er den samme, der hos os er kendt under navnet „Schwarz-Rankine's“ formel. Den har følgende almindelige form:

$$\sigma_k = \frac{\sigma}{1 + c\left(\frac{l}{i}\right)^2}, \text{ hvor}$$

σ_k = den tilladte knækspænding.

σ = " — trykspænding, når knækning ikke kan indtræde.

l = stangens længde.

i = stangtværsnittets mindste træghedsradius.

c = en faktor, der er afhængig af, hvorledes stangenden er befæstet.

For σ sættes de før nævnte værdier for trykspændinger.

Nogle ingeniører går ud fra materialets brudfasthed og indfører ved bevægelig belastning en variabel sikkerhedskoefficient n , der er afhængig af stangens dimensioner.

Ifølge Du Bois er

for svejsjern ved rørformig tværsnitsform	$n = 3 + \frac{l}{10b}$
„ andre tværsnitsformer	$n = 4 + \frac{l}{20b}$
„ støbejern „ rørformig tværsnitsform	$n = 6 + \frac{l}{10b}$
„ andre tværsnitsformer	$n = 7 + \frac{l}{20b}$
„ træ	$n = 6 + \frac{l}{10b}$

hvor l = stangens længde

b = den mindste bredde af det om tværsnittet omskrevne rektangel.

Ved hvilende belastning sættes for svejsjern $n = 4$.

Kaldes materialets brudfasthed β , så er efter denne methode at sætte i Gordons formel:

$$\sigma = \frac{\beta}{n}$$

For faktoren c benyttes ved svejsjern følgende værdier:

Begge stangender flade	$c = \frac{1}{36000}$
Den ene ende flad, den anden hvilende på en bolt	$c = \frac{1}{24000}$
Begge stangender hvilende på bolte	$c = \frac{1}{18000}$

Gordons formel anvendes også af nogle for at bestemme den tilladte spænding i trykgurterne af almindelige pladebærere for at sikre mod en udbøjning til siden. På grund af den afstivning, vertikalvæggen bevirker, er faktoren c mindre end nys anført.

Den formel, som anvendes, er

$$\sigma_k = \frac{\sigma}{1 + c_1 \left(\frac{l}{b_1}\right)^2}, \text{ hvor } \sigma \text{ har følgende værdier:}$$

	Svejsjern.	Stål.
for valsede bærere $\sigma = 600-700$		660 kg. pr. cm. ²
„ klinkede „ $\sigma = 530-630$		660 „ „ „
$c_1 = \frac{1}{5000}$		
l = afstanden mellem afstivningerne		
b_1 = gurtflænsens bredde.		

b. Johnsons formler.

Ingeniør Th. H. Johnson har (se Transact. of Am. Soc. C. E. 1886) opstillet enklere formler, der skal stemme meget godt med forsøgsresultaterne. Da disse formler har vundet temmelig megen udbredelse, skal de anføres:

For $\frac{l}{i} > \sqrt{\frac{3 a E}{\beta}}$ gjælder Eulers formel: $\beta_k = a \cdot E \left(\frac{l}{i}\right)^2$

„ $\frac{l}{i} < \sqrt{\frac{3 a E}{\beta}}$ gjælder følgende formel:

$$\beta_k = \beta - \frac{l}{i} \sqrt{\frac{4}{a E} \cdot \left(\frac{\beta}{3}\right)^2} = \beta - c \cdot \frac{l}{i}$$

Her er

a = en konstant, der er afhængig af den måde, hvorpå stangens ender er understøttede. Den har følgende værdier:

$a = \pi^2$ for afrundede ender,

$a = \frac{5}{3} \pi^2$, når enderne hviler på bolte,

$a = \frac{5}{2} \pi^2$, når enderne er flade.

E = materialets elasticitetsmodul,

l = stangens længde,

i = tværsnittets mindste træghedsradius,

β = materialets brudfasthed på tryk,

β_k = den materialanstrængelse, der knækker stangen.

Johnson indfører følgende værdier for de forskellige materialier:

For svejsjern $\beta = 2950$ kg. pr. cm.² $E = 1898000$ kg. pr. cm.²

„ blødt stål ($C = 0,12 \%$) $\beta = 3690$ „ „ „ $E = 1898000$ „ „ „

„ hårdt stål ($C = 0,36 \%$) $\beta = 5625$ „ „ „ $E = 1898000$ „ „ „

„ støbejern $\beta = 5625$ „ „ „ $E = 1125000$ „ „ „

„ eg $\beta = 380$ „ „ „ $E = 84400$ „ „ „

og får da følgende formler for de specielle tilfælde:

Material.	Stang- endernes anordning.	$\beta_k = \beta - c \cdot \frac{l}{i} \text{ kg. pr. cm.}^2$ for $\frac{l}{i} < \sqrt{\frac{3 a E}{\beta}}$	$\frac{l}{i} = \sqrt{\frac{3 a E}{\beta}}$	$\beta_k = a E \left(\frac{i}{l}\right)^2 \text{ kg. pr. cm.}^2$ for $\frac{l}{i} > \sqrt{\frac{3 a E}{\beta}}$
Sveisjern	Flade	$\beta_k = 2950 - 9,0 \frac{l}{i}$	218	$\beta_k = 46\,832\,000 \left(\frac{i}{l}\right)^2$
	Bolte	$\beta_k = 2950 - 11,0 \frac{l}{i}$	178	$\beta_k = 31\,228\,000 \left(\frac{i}{l}\right)^2$
	Runde	$\beta_k = 2950 - 14,3 \frac{l}{i}$	138	$\beta_k = 18\,737\,000 \left(\frac{i}{l}\right)^2$
Blødt stål (C = 0,12 %)	Flade	$\beta_k = 3690 - 12,6 \frac{l}{i}$	195	$\beta_k = 46\,832\,000 \left(\frac{i}{l}\right)^2$
	Bolte	$\beta_k = 3690 - 15,5 \frac{l}{i}$	159	$\beta_k = 31\,228\,000 \left(\frac{i}{l}\right)^2$
	Runde	$\beta_k = 3690 - 20,0 \frac{l}{i}$	123	$\beta_k = 18\,737\,000 \left(\frac{i}{l}\right)^2$
Hårdt stål (C = 0,36 %)	Flade	$\beta_k = 5625 - 23,7 \frac{l}{i}$	158	$\beta_k = 46\,832\,000 \left(\frac{i}{l}\right)^2$
	Bolte	$\beta_k = 5625 - 29,1 \frac{l}{i}$	129	$\beta_k = 31\,228\,000 \left(\frac{i}{l}\right)^2$
	Runde	$\beta_k = 5625 - 37,5 \frac{l}{i}$	100	$\beta_k = 18\,737\,000 \left(\frac{i}{l}\right)^2$
Støbejern	Flade	$\beta_k = 5625 - 30,8 \frac{l}{i}$	122	$\beta_k = 27\,753\,000 \left(\frac{i}{l}\right)^2$
	Bolte	$\beta_k = 5625 - 37,7 \frac{l}{i}$	99	$\beta_k = 18\,506\,000 \left(\frac{i}{l}\right)^2$
	Runde	$\beta_k = 5625 - 48,7 \frac{l}{i}$	77	$\beta_k = 11\,129\,000 \left(\frac{i}{l}\right)^2$
Eg	Flade	$\beta_k = 380 - 2,1 \frac{l}{i}$	128	$\beta_k = 2\,081\,400 \left(\frac{i}{l}\right)^2$

Formlerne giver som nævnt den spænding, der knækker stangen.
Ved bevægelig belastning sættes sikkerhedskoefficienten

$$n = 4 + \frac{l}{200}$$

hvor l = den mindste bredde af det om tværsnittet omskrevne rektangel.

Ved hvilende belastning sættes
for svejsjern $n = 4$, for støbejern $n = 6$.

c. Coopers formler.

Johnsons formler er adopterede af flere ingeniører, kun er konstanternes værdier lidt forskellige. Her skal anføres de i Coopers specifikationer angivne formler. Som man ser, tillader disse for hvilende belastning dobbelt så stor spænding som for bevægelig belastning.

Coopers formler er følgende:

	Svejsjern.	Stål.
<i>Jernbanebroer.</i>		
trykgurter:		
for bevægelig belastning	$\sigma_k = 560 - 2,1 \frac{l}{i}$	$\sigma_k = 670 - 2,5 \frac{l}{i}$
„ egenvægt	$\sigma_k = 1120 - 4,2 \frac{l}{i}$	$\sigma_k = 1340 - 5,0 \frac{l}{i}$
vertikaler:		
for bevægelig belastning	$\sigma_k = 490 - 2,8 \frac{l}{i}$	$\sigma_k = 600 - 3,8 \frac{l}{i}$
„ egenvægt	$\sigma_k = 980 - 5,6 \frac{l}{i}$	$\sigma_k = 1200 - 7,6 \frac{l}{i}$
„ vindbelastning	$\sigma_k = 740 - 4,2 \frac{l}{i}$	$\sigma_k = 915 - 6,0 \frac{l}{i}$
horisontale afstivninger	$\sigma_k = 490 - 3,5 \frac{l}{i}$	
<i>Veibroer.</i>		
trykgurter:		
for bevægelig belastning	$\sigma_k = 700 - 2,8 \frac{l}{i}$	$\sigma_k = 840 - 3,35 \frac{l}{i}$
„ egenvægt	$\sigma_k = 1400 - 5,6 \frac{l}{i}$	$\sigma_k = 1680 - 6,7 \frac{l}{i}$
vertikaler:		
for bevægelig belastning	$\sigma_k = 615 - 3,5 \frac{l}{i}$	$\sigma_k = 700 - 4,9 \frac{l}{i}$
„ egenvægt	$\sigma_k = 1230 - 7,0 \frac{l}{i}$	$\sigma_k = 1400 - 9,8 \frac{l}{i}$
„ for vindbelastning	$\sigma_k = 915 - 5,3 \frac{l}{i}$	$\sigma_k = 1125 - 7,1 \frac{l}{i}$
horisontale afstivninger	$\sigma_k = 770 - 4,2 \frac{l}{i}$	

Bogstaverne har samme betydning som før.

For at få stangens hele tværsnitsareal adderes det areal, der fås ved at dividere kraften fra bevægelig belastning med den tilhørende spæn-

ding, til det areal, der fåes ved at dividere egenvægtskraften med den for samme tilladte spænding. For de horisontale afstivninger gjælder følgende. Når de ved dem befæstede justerbare stænger anstrænges med 700 kg. pr. cm.², så skal afstivningen kunne modstå resultanten af alle disse kræfter, uden at spændingen overskrider den af ovenanførte formel bestemte værdi. Giver denne forudsætning en større kraft i stangen end den ydre belastning, så er den førstnævnte at lægge til grund for dimensioneringen.

Cooper foreskriver, videre, at ingen trykket stang skal have en længde større end 45 gange dens mindste bredde.

Foruden de nu nævnte formler gives der flere andre, men som kun gjælder for specielle tværsnitsformer (**I**-, **II**-, kvadratisk, rundt etc. tværsnit). De er byggede på samme måde som Gordons formel, kun er de konstante faktorer andre og bestemte ved direkte forsøg.

Som bekendt er beregningen af trykkede stænger et problem, som man i lang tid har beskæftiget sig med, uden at det endnu kan siges at være tilfredsstillende løst. Der er derfor også bleven foreslået en mængde knækningsformler. Hos os bruges mest Eulers og Schwarz-Rankine's (Gordons) formel. For lange, slanke stænger stemmer som bekendt den Euler'ske formel godt overens med forsøgsresultaterne. For forholdsvis korte stænger bruges den empiriske Schwarz-Rankine's (Gordons) formel, der dog ikke viser nogen videre god overensstemmelse med forsøgene. Årsagerne hertil er flere. Blandt andet er — som forsøgene viser — faktoren c ikke konstant, men afhængig af tværsnittets form. Amerikanerne har omgået denne vanskelighed ved som nævnt at opstille specielle formler for de af dem hyppigst anvendte tværsnitsformer. Professor v. Tetmajer i Zürich har for at opnå bedre overensstemmelse med forsøgsresultaterne indført c som en funktion af $\frac{l}{i}$. (Se Tetmajer: Baumechanik, Zürich 1889). Men derved blir formelen endnu møisommeligere at anvende ved praktiske beregninger.

I den senere tid har man dog også her i Europa begyndt at følge Johnsons eksempel, idet man har antaget den enklere ligning af 1ste grad som knækningsformel istedetfor den mere komplicerede Schwarz-Rankine's formel. Således er i den schweizeriske „forordning betreffende beregning og prøvning af jernbroer og tagkonstruktioner på de schweizeriske jernbaner“ (august 1892) ligningen af 1ste grad antaget, rigtignok med lidt andre koefficienter end i de amerikanske formler. Senere har professor v. Tetmajer også adopteret ligningen af 1ste grad, og i „Mitteilungen der Materialprüfungsanstalt am schweiz. Polytechnikum“, hefte VIII, giver han — støttet på sine forsøgsresultater — følgende knækningsformler, der for sammenligningens skyld anføres.

Stæisjern.

$$\begin{aligned} \text{for } \frac{l}{i} &= 10-112; & \beta_k &= 3030 - 12,9 \frac{l}{i} \text{ kg. pr. cm.}^2 \\ \text{,, } \frac{l}{i} &\geq 112; & \beta_k &= 15740000 \left(\frac{i}{l}\right)^2 \text{ ,, ,, ,,} \end{aligned}$$

Smeltjern (stål)

$$\begin{aligned} \text{med en strækfasthed } \leq 4000 \text{ kg. pr. cm.}^2 & \quad \text{med en strækfasthed } > 4000 \text{ kg. pr. cm.}^2 \\ \text{for } \frac{l}{i} &= 10-105; & \beta_k &= 3100-11,4 \frac{l}{i} & \beta_k &= 3210-11,6 \frac{l}{i} \text{ ,, ,, ,,} \\ \text{,, } \frac{l}{i} &\geq 105; & \beta_k &= 21220000 \left(\frac{i}{l}\right)^2 & \beta_k &= 22200000 \left(\frac{i}{l}\right)^2 \text{ ,, ,, ,,} \end{aligned}$$

Gunstensen: Om brobygningen i Nordamerikas forenede stater.

Bogstaverne har samme betydning som før. Formlerne forudsætter, at stangerne er bevægeligt lagrede (runde); da er at sætte l = stangens hele længde. Er stangerne faste (flade), så er at indføre den theoretisk værdi l = halvdelen af stangens længde.

Den af de amerikanske ingeniører indførte variable sikkerhedskoefficient må af flere grunde ansees for heldig.

4. Spændinger ved afvejlende stræk og tryk.

For dette tilfælde er forskellige metoder i brug. Efter en ældre methode beregnes det tværsnitsareal, som strækraften for sig og trykkraften for sig forlanger, og begge disse arealer adderes.

Ingeniør Cooper anvender en analog methode. Han forøger stræk- og trykkraften med 0,8 af den mindstes værdi, dividerer de således forøgede kræfter med de resp. for stræk og tryk tilladte spændinger og får så det nødvendige tværsnitsareal for begge tilfælde. Det største areal vælges da. De tilladte trykspændinger bestemmes efter knækningsformelen.

Ex. Har en stang at udholde 10000 kg. stræk og 6000 kg. tryk, så er $0,8 \cdot 6000 = 4800$ kg. Adderet til de foregående blir at indføre i regningen som stræk 14800 kg., som tryk 10800 kg. Tillades nu for stræk $\sigma = 700$ kg. pr. cm.², for tryk $\sigma = 600$ kg. pr. cm.², så fåes følgende tværsnitsarealer:

$$\text{for stræk } F_s = \frac{14800}{700} = 21,4 \text{ cm.}^2$$

$$\text{,, tryk } F_t = \frac{10800}{600} = 18,0 \text{ cm.}^2$$

Det største areal 21,4 cm.² blir da at vælge.

Andre ingeniører benytter den Launhardt-Weyrauch'ske formel. Er stangen så lang, at der må tages hensyn til knækningsfaren, så reduceres den af formelen givne spænding efter knækningsformelen.

5. Skjærspændinger.

Ved afskjæring i én retning ligger den tilladte skjærspænding τ for nagler og bolte i regelen mellem følgende grænser:

Sveisjern	Stål
$\tau = 420-630$	$530-700$ kg. pr. cm. ²

Eller også sættes $\tau = \frac{3}{4}$ af den tilladte strækspænding. I almindelighed bruges de lavere værdier ved jernbanebroer, de høiere ved veibroer.

Er naglerne udsatte for afskjæring i flere retninger — som f. ex. når de tjener til at befæste en stang, der er udsat for afvejlende stræk og tryk — så formindskes τ . En del ingeniører benytter i dette tilfælde den Launhardt-Weyrauch'ske formel med værdien for τ indsat istedetfor σ . For nagler, der slæes ved monteringen, reduceres τ med $\frac{1}{3}-\frac{1}{4}$.

Foruden på afskjæring må naglerne også undersøges med hensyn til det tryk, de udøver på naglehullets væg. Dette tryk henføres til en flade = naglediameteren gange pladetykkelsen. Den på denne flade tilladte trykspænding ligger vanligen mellem følgende grænser:

Sveisjern
840—1050

Stål
1050—1260 kg. pr. cm.²

Eller også sættes den lig 1,5 gange den tilladte strækspænding.

Ved beregning af pladebjælker går mange ingeniører ud fra, at flænsen alene optager bøiningsmomentet, og ståpladen alene skjærkraften. Der tages da altså ikke hensyn til ståpladen ved beregningen af tværsnittets modstandsmoment. For at sikre ståpladen mod udbøining beregnes den tilladte skjærspænding i samme af følgende formel:

$$\tau = \frac{\sigma}{1 + c \left(\frac{h}{\delta} \right)^2} \text{ kg. pr. cm.}^2, \text{ hvor}$$

h = ståpladens høide, δ = ståpladens tykkelse.

Værdierne af spændingen σ og konstanten c er antagne forskellige. Således af

Cooper	$\left. \begin{array}{l} \sigma = 840 \text{ kg. pr. cm.}^2 \text{ for jernbanebroer} \\ \sigma = 1050 \text{ " " " " veibroer} \end{array} \right\}$	$c = \frac{1}{3000}$
Bouscaren	$\sigma = 630 \text{ " " " "}$	$c = \frac{1}{6000}$
Keystone Bridge Co. $\sigma = 700 \text{ " " " "}$	jernbanebroer	$c = \frac{1}{3000}$

Overskrider paa noget sted den optrædende skjærspænding den af formelen beregnede, så afstives ståpladen.

Afstivningerne beregnes da som stænger af længden h , der har at udholde skjærkraften på det betræffende sted som trykkraft. De gjøres da *mindst* så stærke, at spændingen i dem ikke overskrider den af ovenstående formel beregnede. For δ indføres i formelen tykkelsen af pladen og de langs samme liggende dele af afstivningen. Anvendes f. ex. vinkeljern med foderplader på begge sider af ståpladen, så er δ lig tykkelsen af vinkelbenene, foderplader og ståplade tilsammen, og de udstående vinkelben medregnes ikke. Som effektivt tværsnit derimod regnes summen af vinkeljernene, foderpladerne og en strimmel af ståpladen lige bred som vinkelbenet.

Vertikalafstivninger anbringes selvfølgelig ved bjælkens ender og på de steder, hvor koncentrerede belastninger angriber. Forøvrigt er deres indbyrdes afstand vanligen lig 1,0 m. eller ved større broer lig bjælkehøiden omtrent.

Angaaende pladebjælker har Cooper i sine specifikationer et par bestemmelser, der må ansees som meget heldige og derfor anføres her, nemlig:

„Ved bjælker med horisontalplader skal mindst halvdelen af flænsens tværsnit udgøres af vinkeljern. Ellers skal vinkeljern af største dimension anvendes.“

„Trykflænsen skal afstives mod knækning i tværretningen, når længden er større end 30 gange flænsens bredde.“

6. Øieboltene.

Øieboltene må foruden på afskjæring og tryk på hullets væg også beregnes på bøining. De her tilladte bøiningsspændinger er:

Sveisjern

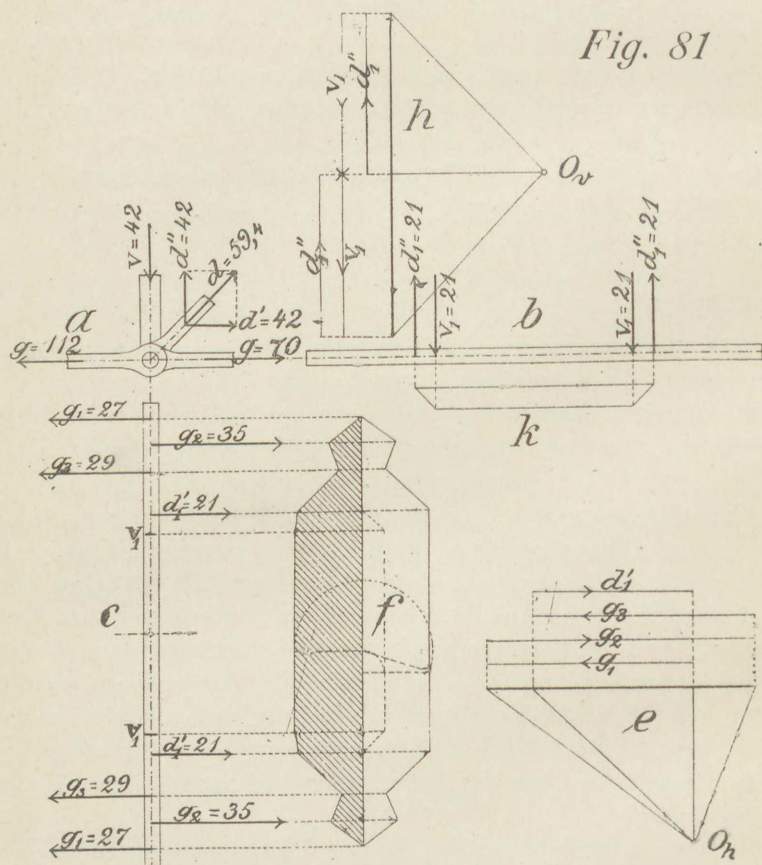
 $\sigma = 1050-1260$

Stål

1330—1550 kg. pr. cm.²

Ved beregningen antages kraften i hver stang at virke i dennes axe. De forskellige stangkrafter dekomponeres i horisontale og vertikale komponenter, og bøjningsmomentet bestemmes for hvert af disse kraftsystemer. Det resulterende moment er da lig kvadratroden af summen af kvadraterne af det horisontale og vertikale moment.

I fig. 81 er vist den grafiske beregning af en øiebolt. Fig. *a* er et schematisk oprids af knudepunktet, *b* tværsnit og *c* grundrids. På den



venstre side af knudepunktet er gurtkraften = 112 t., som optages af 4 øiestænger, der er anordnede symmetrisk 2 på hver side af midten. Modsvarende øiestængernes tværsnitsareal fordeler kraften sig på den i grundridset fig. *c* angivne måde med $g_1 = 27$ t. og $g_3 = 29$ t. På den høire side af knudepunktet er gurtkraften = 70 t., der fordeler sig på de symmetrisk anordnede 2 stænger med $g_2 = 35$ t. Kraften i diagonalen er ialt = 59,4 t., der fordeler sig på 2 øiestænger. Den horisontale komponent af kraften i hver af disse er $d_1' = 21$ t. Samme størrelse har også den vertikale komponent d_1'' . Vertikalen består af 2 forgitrede $\square$ -jern;

trykkraften er ialt $= 42 t.$, så at på hvert **L**-jern kommer $v_1 = 21 t.$ Fig. *c* angiver de horisontale kræfter, der virker på boltene, fig. *e* er den til disse hørende kraftpolygon (for kræfterne på den ene side af midten) og fig. *f* den tilsvarende momentpolygon. Fig. *b* angiver de vertikale kræfter på boltene, fig. *h* er kraftpolygonen og fig. *k* den tilhørende momentpolygon. Denne er overflyttet til fig. *f* og der indtegnet med punkterede linier. Det resulterende moment er nu konstrueret som hypotenuse i et retvinklet triangel med de to andre momenter som kateter. På denne måde fremkommer den skrafferede endelige momentflade.

Denne beregning af boltene er vel ikke ganske exakt, men for praktiske øiemed fuldkommen tilstrækkelig. Den nøiagtige bestemmelse af spændingerne i en sådan bolt er en meget vanskelig opgave. Forudsætter man, at arbeidet er exakt udført, og at boltene er ganske stive, så fordeler stangkraften sig på en længde af boltene lig stangens tykkelse. Derved blir bøjningsmomentet i alle fald på enkelte steder mindre, end om kraften tænkes koncentreret i stangens axe. Men nu bøier boltene sig lidt, og kraften fordeles ikke jævnt på samme, eller med andre ord kraften falder ikke sammen med stangens axe. Videre blir boltene foruden på bøjning udsat for afskjæring og også for torsion fra friktionen mellem bolt og stang. Herved blir problemet endnu mere kompliceret. Den anførte methode at lægge det resulterende moment alene til grund for beregningen er — når der ikke tages hensyn til torsionen — kun rigtig, når skjærkraften er $= 0$. Hvor dette ikke er tilfældet — som f. ex. ved enderne af boltene — har man for at få et nøiagtigere resultat at tage hensyn både til momentet og skjærkraften og af disse at bestemme den ideale hovedspænding. Men da skjærkraftens indflydelse er forholdsvis meget mindre end momentets, og dette som bekjendt har et maximum der, hvor skjærkraften er $= 0$, så giver den anførte beregningsmaade i alle fald tilnærmelsesvis den største spænding.

De på boltene virkende stænger placeres altid symmetrisk, såfremt det går an. Da det er en fordel at boltens diameter blir så liden som muligt, så spiller den måde, hvorpå stængerne anordnes, en stor rolle. Det bedste arrangement er, når resultanten af de på hver side af boltemidten i den ene retning virkende kræfter så nær som muligt falder sammen med resultanten af kræfterne i den anden retning. Thi da blir bøjningsmomentet mindst.

7. Oplagerkonstruktionerne.

Rullerne ved det bevægelige bro-oplager får sådanne dimensioner, at trykket pr. længdeenhed af rullen ikke overskrider den af følgende formel bestemte værdi:

$$p = c \sqrt{d}, \text{ hvor}$$

p = trykket pr. længdeenhed af rullen,

d = rullens diameter,

c = en faktor, hvis værdi er forskjellig i forskjellige specifikationer.

Udtrykkes p i kg. pr l. cm. og d i cm., så er

$c = 56$ eller 78 (500 eller 700).

Ved Keystone Bridge Co. sættes

for jern $c = 78$, for stål $c = 100$ (700 resp. 900)

Tallene i () angiver værdierne for c , når p udtrykkes i Æ pr. l. tomme og d i tomme.

Rullelagere anvendes vanligen

ved fakværksbroer fra 20 m. spændvidde omtrent og derover,

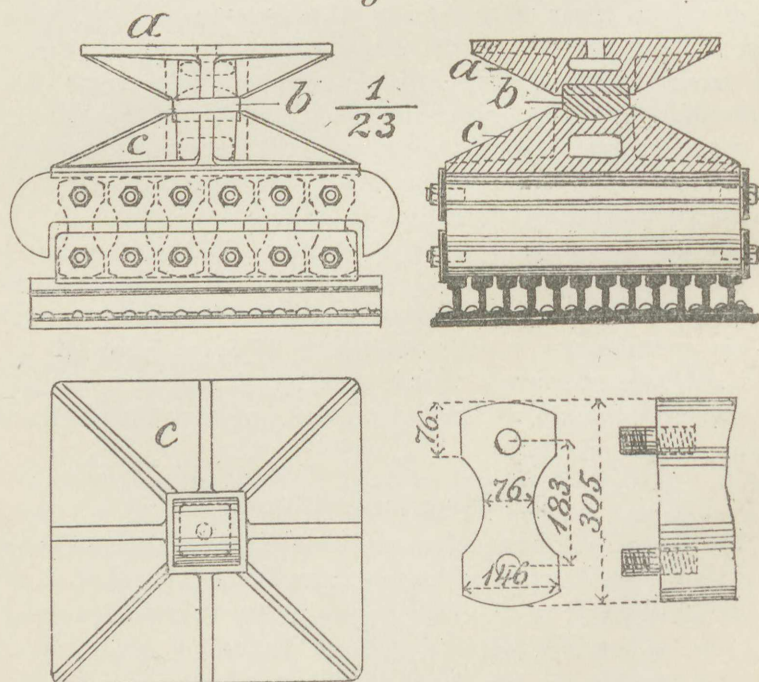
„ pladebroer „ 15–20 „ ———— „ —

Ved mindre spændvidder anvendes glidelagere.

Rullernes diameter er vanligen = 70–80 mm. (minimum = 50 mm.)

Grunden til, at man anvender så små ruller, må vel søges i, at det tilladte tryk sættes proportionalt med $\sqrt{d}$. Forøges diameteren f. ex. til $2d$, så er efter den anførte formel det tilladte tryk kun 41% større end om diameteren = d . Formelen selv fører altså til anvendelsen af små ruller. Her i Europa sætter man som bekjendt det tilladte tryk proportionalt med d og finder sig bedre tjent med at anvende ruller med stor diameter. De små ruller har desuden den ulempe, at modstanden mod forskyvning blir forholdsvis stor, især når smuds med tiden trænger sig ind og sætter sig fast i lageret.

Fig. 82



I den nyere tid finder man dog enkeltvis oplagerkonstruktioner, der nærmer sig den i Europa brugelige anordning. Fig. 82 viser en udmær-

ket konstruktion, der af ingeniør G. S. Morison er anvendt ved de af ham i den sidste tid byggede broer. Undergurten og endestræveren træffer på vanlig måde sammen på bolten, der hviler i en af plader og vinkeljern sammensat oplagerstol. (Smlgn. konstruktionen på bl. X). Stolen befæstes på en øvre plade *a*, der formedelst mellemstykket *b* overfører oplagertrykket på den undre plade *c*. Den øvre og den undre flade af mellemstykket er dannet efter cylindre, der skjærer hinanden under en ret vinkel. Morison gjør cylinderradierne lig mellemstykkets sidelængde. Pladen *a* kan således dreie sig noget både i broens længde- og tværretning, og hovedbærerne kan tvangfrit stille sig ind, så at trykket fordeles jævnt på underlaget, og små unøjagtigheder i arbeidet er uden indflydelse. Istedetfor ruller er anvendt segmentvalser, gennem hvilke trykket overføres på murpladen. Denne består af et system af jernbaneskiner, der alle er afhøvlede til samme høide og forøvrigt anordnede på den før beskrevne måde. For at styre segmentvalserne er der ved enderne af dem befæstet to fladjern, hvoraf det øvre griber over kanten af pladen *c*, det nedre over de yderste jernbaneskiner, så at en forskyvning i tværretningen forhindres. Det øvre fladjern har videre hager ved enderne for at begrænse bevægelsen i broens længderetning og hindre valserne fra at falde om. Alle flader, der bevæger sig mod hinanden, er høvlede.

Da hovedbærerne kan dreie sig om mellemstykket *b* både i længde- og tværretningen, så må de indbyrdes fast forbindes ved enderne, forat broen skal få den nødvendige sidestivhed og de horisontale tværkræfter kunne overføres til murværket. Er brobanen anbragt nedentil, så er det enklest at klinke endetværbærerne fast til undergurten eller den skrå endestræver. Klinkningsarbeidet bør udføres, først efterat hovedbærerne er monterede og har indtaget sin tvangfrie stilling. Tværbærerens passes da ind nøiagtigt, så at den ikke forårsager nogen forstyrrelse i den jævne fordeling af oplagertrykket.

Plader, mellemstykke og segmentvalser er af støbestål. Morison gjør segmentvalsernes diameter konstant og = 305 mm. (12") og forandrer deres længde og antal efter behov.

Det ved oplagerkonstruktionerne tilladte tryk på murværket overskrider vanligen ikke 18–21 kg. pr. cm.², hvorefter murpladens størrelse bestemmes.

8. Overhøide.

De af egenvægten og den tilfældige belastning fremkaldte spændinger i falkværksstængerne gjør, at disses længder forandres noget. De forkortes eller forlænges, eftersom spændingen er tryk eller stræk. Disse små længdeforandringer har til følge, at falkværket sænker sig noget. Selv om knudepunkterne derfor ved monteringen lægges i en ret linie fra oplager til oplager, så ligger de på en nedadbøiet kurve, når monteringskilerne tages væk.

For at eliminere denne nedbøining anordnes hovedbærerne fra begyndelsen af så, at de danner en svagt opadbøiet kurve. Overhøiden i midten beregnes enten efter de af teorien givne formler eller gøres lig omtrent $\frac{1}{1200}$ af spændvidden. Stængerne i overgurtens må da være lidt længere, de i undergurtens lidt kortere, end bærerens matematiske form forlanger. En bekvem praktisk regel er — efter ingeniør Coopers specifikationer — at gøre overgurtens felter længere end undergurtens i forhold 1 : 960 ($\frac{1}{8}$ " på 10') ved jernbanebroer og 1 : 640 ($\frac{3}{16}$ " på 10') ved veibroer.

E. Slutningsbemærkninger.

Det har i lang tid været et ofte behandlet spørgsmaal, hvilken af de to brobygningsmetoder, den amerikanske med bolteforbindelser eller den europæiske med klinkede knudepunkter, der er den heldigste. I den følgende sammenligning mellem de to systemer er de væsentligste punkter berørte.

Som bekjendt går den almindelige fakværksteori ud fra den forudsætning, at der i knudepunkterne er charnierer, om hvilke de enkelte stænger kan dreie sig uden friktion. De amerikanske ingeniører fremhæver derfor, at deres konstruktionsmåde står i bedre overensstemmelse med teorien end den europæiske med klinkede knudepunkter. Som følge heraf vil kræfterne overføres axialt, hvilket ikke er tilfældet ved faste knudepunktsforbindelser. Ved første blik kan dette synes at være rigtigt; men undersøger man sagen nøiere, finder man, at det ikke er så.

Når et fakværk belastes og bøier sig ned, og de enkelte stænger på grund af anstrængelsen undergår små længdeforandringer, så forandres også vinklerne mellem de i et knudepunkt sammentræffende stænger. Er nu forbindelserne her faste, så kan disse små vinkelforandringer ikke gå for sig, uden stængerne må bøie sig lidt for at passe ind i det deformerede fakværk. Der opstår derfor altid foruden de egentlige stræk- og trykspændinger — de primære spændinger — tillige bøiningsspændinger — sekundære spændinger —, eller, hvad som er det samme, kraften virker ikke i stangaxen, men flyttes ud fra denne. Dette kan ikke undgås, når knudepunkterne er faste.

Ved bolteforbindelser vilde vinklerne mellem de enkelte stænger kunne forandre sig, stængerne altså uden videre passe ind i det deformerede fakværk, dersom de kunde dreie sig om boltene uden friktion. Thi skal en stang dreie sig, så må først friktionens modstand overvindes. I virkeligheden er nu friktionsmodstanden under vanlige forhold så stor, at nogen dreining ikke finder sted, uden stangen bøier sig ligesom ved faste knudepunkter. Kraften falder derfor heller ikke ved bolteforbin-

delser sammen med stangens axe, og der optræder sekundære spændinger ligesom ved klinkede forbindelser.

En fordel frembyder dog bolteforbindelserne i denne henseende, nemlig at stangkraften ikke kan blive mere excentrisk, end hvad som modsvarer friktionen. Skulde exentriciteten blive større, så vil stangen dreie sig så meget, at stangkraftens dreiemoment blir lig friktionens dreiemoment. De sekundære spændinger kan derfor ved bolteforbindelser ikke overskride en vis grænse.

Går man ved en øiestang ud fra, at materialtykkelsen over øiet er den samme som i selve stangen, og sætter man friktionskoefficienten = 0,14 — en værdi, som ved amerikanske forsøg er funden for stål på stål —, så får man, at de sekundære spændinger under vanlige forhold må andrage til ca. 31% af de primære, førend nogen dreining finder sted. Dette er altså grænseværdien. Større vil ved midlere spændvidder de sekundære spændinger heller ikke være ved enkle, vel konstruerede fakkværker med faste knudepunter.

Det er bleven nævnt, at på grund af rystelserne fra færdselen vilde stængerne lidt efter lidt dreie sig, så at kræfterne vilde overføres axialt, når broen er ubelastet. De sekundære spændinger fra egenvægten vilde da forsvinde, og man vilde kun have dem fra den tilfældige belastning. Men dette forudsætter, at stængerne i fakkværket altid har samme temperatur. Tænker man sig f. ex. en bro med brobanen anbragt ved den nedre gurt, så at denne om dagen ligger i skyggen, medens den øvre gurt er direkte udsat for solstrålerne. Denne forlænger sig da, og broen vil danne en opadbøiet kurve. Men heraf vil der opstå sekundære spændinger på samme måde som før. Skulde disse i dagens løb forsvinde på grund af rystelserne fra trafikken, så vil om natten, når begge gurter antager samme temperatur, broen sænke sig, og sekundære spændinger i modsat retning indtræde. I dette tilfælde vil altså stangkrafterne fra egenvægten dog virke excentrisk.

Hvorvidt rystelserne forøvrigt har den her nævnte virkning, er ikke godt at sige, da såvidt bekjendt ingen direkte undersøgelser i denne retning foreligger.

Hvad kraftoverføringen angår, så kan det ikke nægtes, at den ved bolte sker på en klarere og greiere måde end ved nagler. Kræfterne koncentrerer sig i bolten og går fra denne over i de enkelte stænger. Ved nagler er det jo altid så, at den første nagle i forbindelsen anstrænges mest, de følgende mindre og mindre på grund af materialets elasticitet, så at kraftoverføringen her altid er noget uklar.

Dersom bolten var ganske stiv og ubøielig, vilde der fremkaldes lige store spændinger pr. arealenhed i de til en gruppe hørende stænger. Men nu bøier bolten sig altid lidt under belastningen, og som følge heraf vil kraften fordeles ujævnt, idet en del stænger vil anstrænges mere, en anden del mindre end ved jævn spændingsfordeling. Ved de i Amerika brugelige dimensioner er boltens udbøining dog ringe, og derfor også spændings-

forskjellen ikke synderlig stor, især når stængerne er ordnede på en heldig måde. Ved undergurten af den på bl. XI viste bro fandtes for øiestængerne den største afvigelse = ca. 30 kg. pr. cm.² fra den midlere spænding, der erholdes ved at fordele kraften jævnt på alle til et gurtfelt hørende stænger. Kræfterne antoges da at virke i stængernes axer. Den på vanlig måde bestemte bøjningsspænding i bolten udgjør i maximum 1335 kg. pr. cm.²

Et videre herhen hørende spørgsmål er sikkerheden af de to slags forbindelser. Når bolte anvendes, er hele broens existens afhængig af en bolt. Brister en sådan, så styrter broen sammen. Forøvrigt kan samme bemærkning gøres med hensyn til det hele fakværk. Brister en stang i dette, så styrter broen også sammen, så at forsåvidt er bolten ikke ugunstigere stillet end selve fakværket. Fra teoretisk standpunkt må i denne henseende de to slags forbindelser tilkjendes samme værd; men i virkeligheden kommer det an på materialet og arbeidets udførelse. Er bolten feilfri, så er der ingen grund til at antage bolteforbindelsen mindre sikker end nagleforbindelsen. Men har bolten feil, så falder dette mere i vægtskålen og er langt farligere, end om enkelte nagler har feil. Da man nu ved almindeligt godt arbejde ikke gjerne kan forudsætte, at alle nagler er feilagtige, så vil, selv om enkelte af dem ikke er som de skal være, styrken af hele forbindelsen ikke reduceres i den grad, som når bolten, af hvilken alt afhænger, har feil.

At forbindelserne efter begge metoder dog kan gøres tilstrækkelig sikre, viser erfaringen, og amerikanerne kan påberåbe sig denne som støtte for sin konstruktionsmethode.

En anden sag ved bolteforbindelserne er vanskeligheden ved at befæste horisontalforbandet. For hovedfakværkets vedkommende er jo knudepunktanordningen klar og grei, men vil man konsekvent gennemføre idéen også for vindfakværkets og afstivningernes vedkommende, så blir anordningen hverken enkel eller fuldkommen. Og hvad stivheden i forskellige retninger angår, så må vel enhver medgive, at forbindelsen med bolte i denne henseende er underlegen den med nagler. Flere amerikanske ingeniører indrømmer også, at nagleforbindelsen har sine fordele, hvilket blandt andet fremgår deraf, at mange for afstivningernes vedkommende har forladt bolteforbindelsen og adopteret nagleforbindelsen.

Man har næret frygt for, at boltene med tiden vilde slides, hullerne blive større, så at stødvirkningerne fra den tilfældige belastning vilde tiltage i høj grad og kunne blive farlige for broen. Erfaringen indtil nu synes dog at vise, at denne frygt er ugrundet. Ved demontering af gamle broer, der har gjort tjeneste i mange år, har man fundet boltene fuldkommen runde og uden spor af slitage, endskjønt fordringerne til arbeidet sandsynligvis den gang, da de betræffende broer byggedes, ikke på langt nær var så store som nu. Dette resultat er forøvrigt et bevis for, hvad før er sagt, at stængerne ikke dreier sig om boltene, og at som følge heraf sekundære spændinger opstår ligesom ved klinkede forbindelser.

Formen af de enkelte stænger må betegnes som meget heldig ved de amerikanske fakværksbroer. For øiestængernes vedkommende kan tværsnittet fuldt udnyttes, og man har ikke som ved nagler at føie extra material til for naglehullernes skyld. Heraf resulterer materialbesparelse. Rigtignok må der omkring øiet være overskud af material, men dette opveier ikke besparelsen. Da videre værkstederne er specielt indrettede for fabrikationen af øiestænger, så kan disse fremstilles både raskt og og billigt. Når længden af de enkelte stænger holder sig inden rimelige grænser, blir transporten og monteringen bekvem. Ved europæiske broer lader skjoderne af strækgurterne ofte adskilligt tilbage at ønske. I denne henseende står den amerikanske anordning foran. En videre fordel ved denne sidste er, at man ved at formindske eller forøge stængernes antal kan anvende samme arrangement både for små og store tværsnit, hvorved ensartethed opnåes, og det blir muligt at anvende maskinarbeide i stor udstrækning.

For trykstængernes vedkommende er den brugelige tværsnitsform også meget fordelagtig. Dog må man her i almindelighed anvende noget mere material end ved faste knudepunkter, da knækningslængden er større, fordi enderne er bevægelige. Den amerikanske anordning af trykgurter, hvorved den største materialmængde anbringes i vertikalvæggene, må ansees som meget gunstig, da kræfterne først og fremst overføres til disse gurtpartier. Ved at anordne flere vertikalvægge kan store tværsnit fremstilles, boltene frie længde og dermed også bøjningsspændingerne i samme formindskes, uden at den almindelige anordning behøver at forandres.

En ubestridelig fordel ved den amerikanske anordning er den lette og raske montering. Denne fordel træder især frem, når broen må monteres fritsvævende uden stillads. Klinkningsarbeidet er reduceret til et minimum, og den øvrige del af monteringsarbeidet består hovedsagelig i at ordne stængerne, anbringe boltene og skrue møtrikerne til. Denne omstændighed må det vel for en stor del tilskrives, at brobygningen i Amerika har udviklet sig på en anden måde end i Europa. Så som forholdene er derover og med de der herskende høie arbejds lønninger, gjælder det for brobygningsanstalterne at reducere monteringsomkostningerne til et minimum og heller anvende mere arbeide i værkstedet. Resultatet blir dog, at den færdige bro udført efter dette princip stiller sig billigere end om arbeidet udførtes på europæisk manér. Ved spændvidder af 35 m. og derover skal de naglede broer ikke kunne konkurrere med boltebroerne.

Så som broværkstederne i Europa for nærværende er indrettede vil en boltebro her blive meget dyr. Den forlanger meget smedearbeide, hvilket ved naglede forbindelser er indskrænket til et minimum. Hertil kommer videre den store nøiagtighed, som fordres. Hullerne og boltene må nøie have de foreskrevne dimensioner, længden af de enkelte stænger må være exakt, hullerne må anbringes normalt på stangen og præcis i dens axe o. s. v. I denne henseende stiller de naglede forbindelser ikke så store fordringer, da man her let kan korrigere små unoiagtigheder.

Af det anførte turde fremgå, at såvel den amerikanske som den europæiske brobygningsmåde har sine fortrin og sine mangler. Man kan i almindelighed ikke sige, at den ene er bedre end den anden. Tager man i betragtning, at nu for tiden udføres den statiske beregning med stor nøiagtighed og at kontrollen med materialets tilvirkning og arbejdets udførelse i regelen er streng, så må de moderne amerikanske broer stilles på samme trin som de europæiske, hvad styrke og soliditet angår.



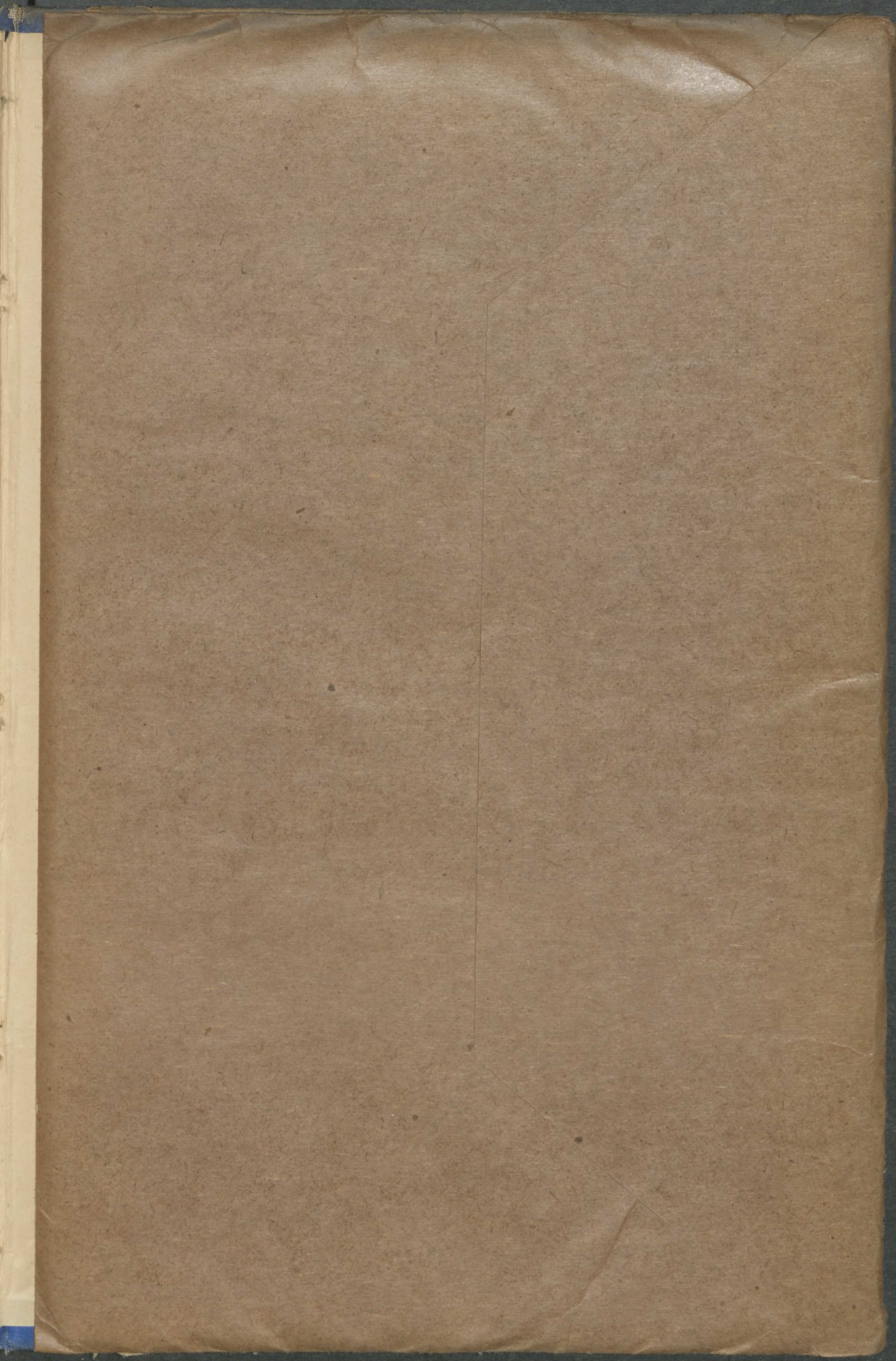


Fig. 1. $\frac{1}{2930}$

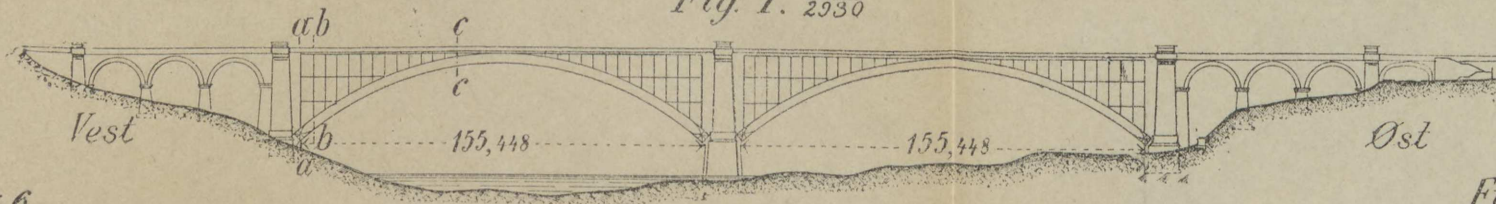


Fig. 6.

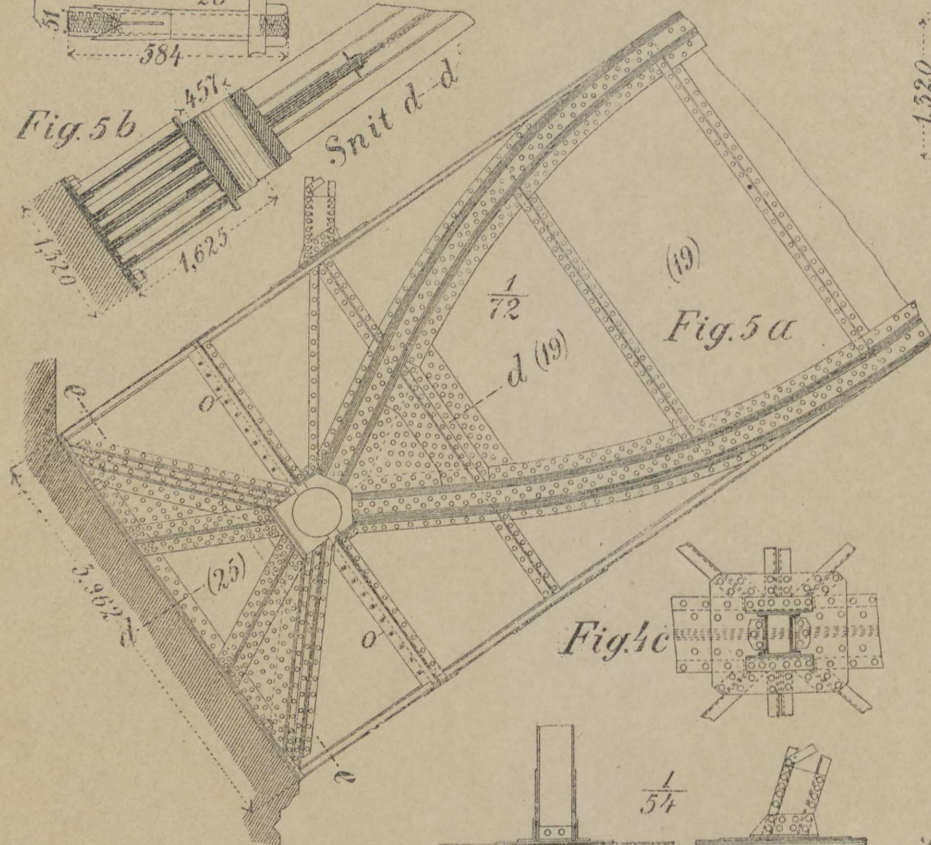
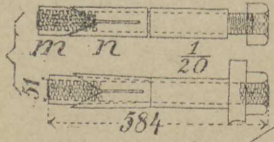


Fig. 5c

Snit e--e

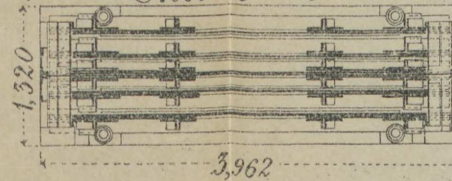


Fig. 8.

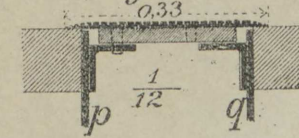


Fig. 2a

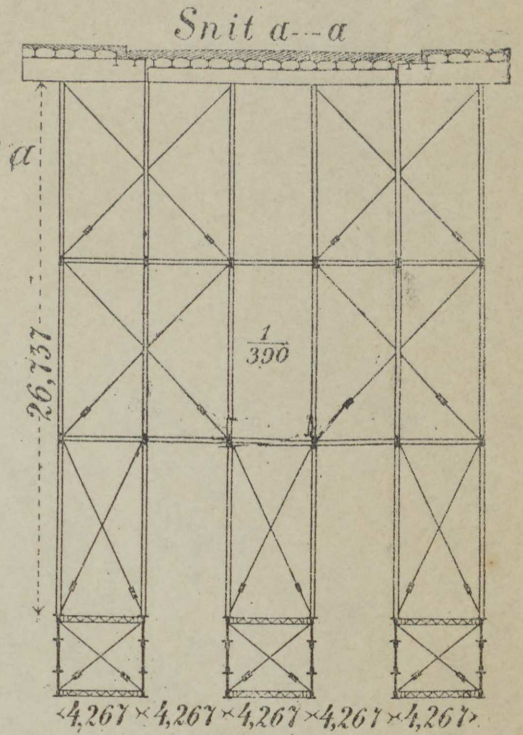


Fig. 7b Snit f--f

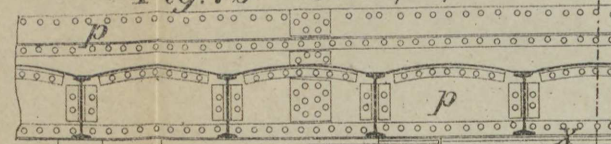


Fig. 7e

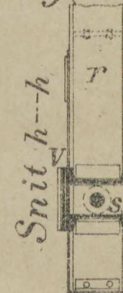


Fig. 7c

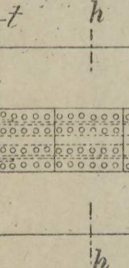
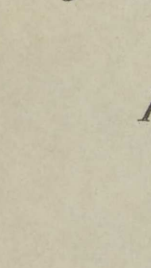


Fig. 7d



Snit b--b

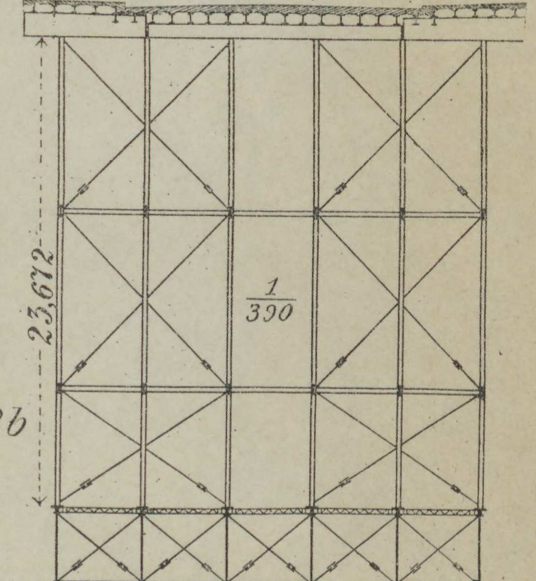


Fig. 2b

Snit c--c

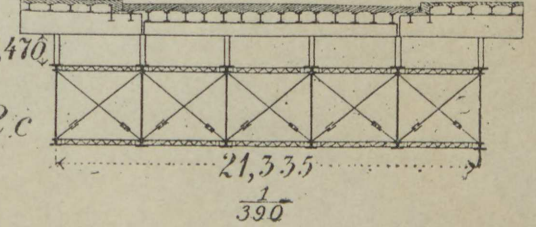
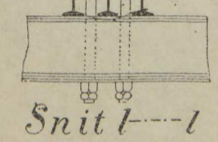


Fig. 2c

Fig. 7f



Snit l--l

Fig. 7a

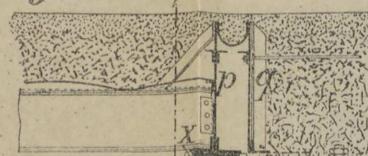
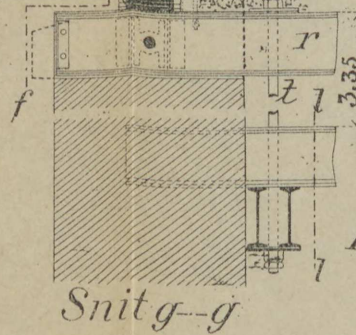


Fig. 4b



Snit g--g

Fig. 4a

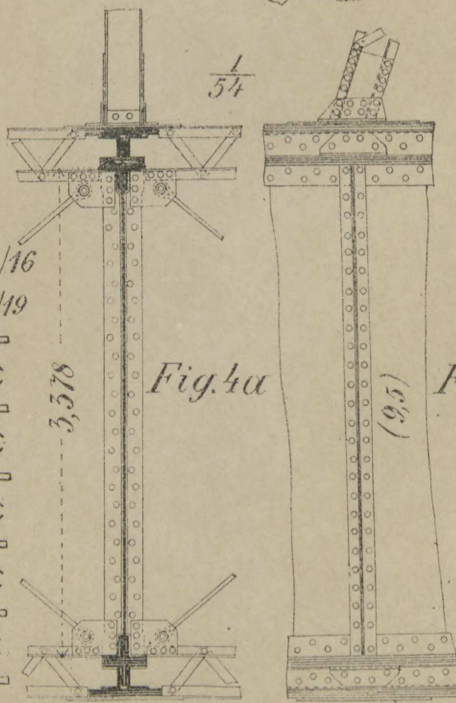


Fig. 4d

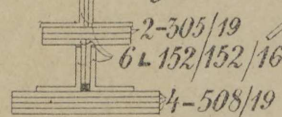
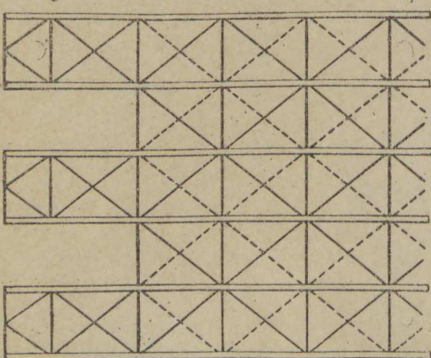


Fig. 3.



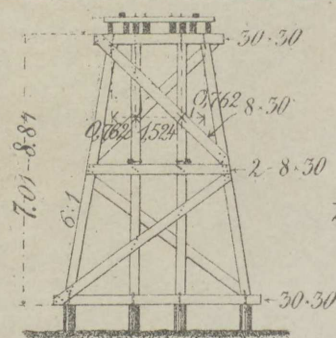
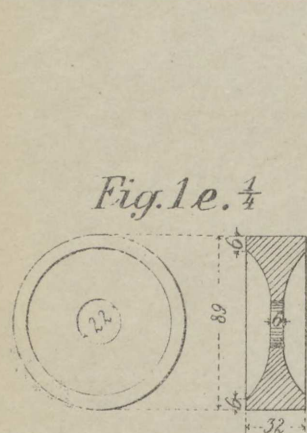


Fig. 2.

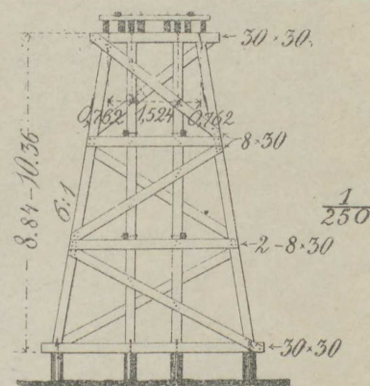


Fig. 3

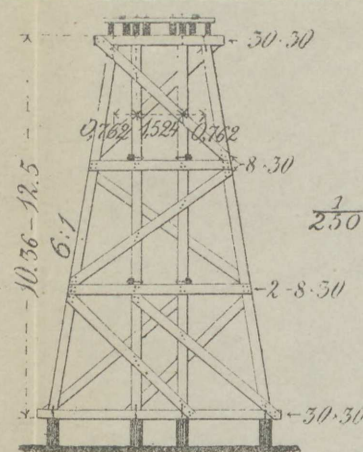


Fig. 4.

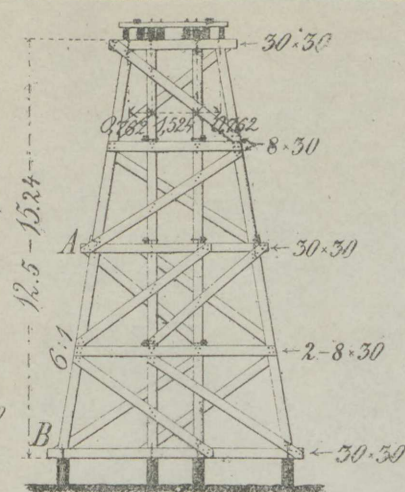


Fig. 5.

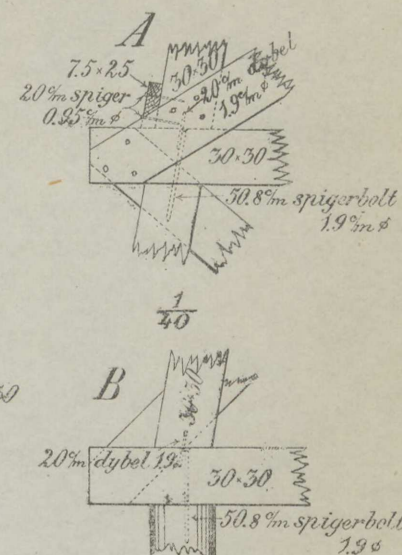


Fig. 6.

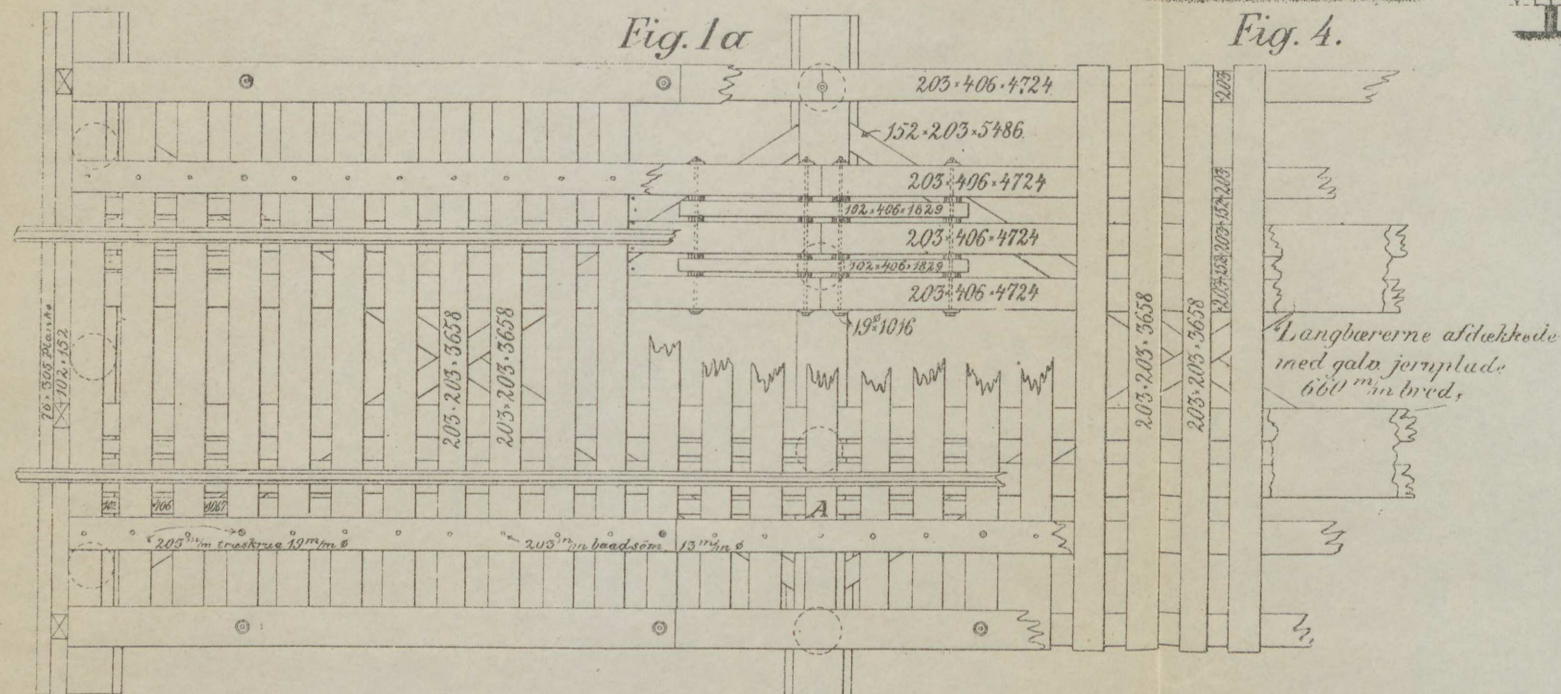


Fig.1 b.

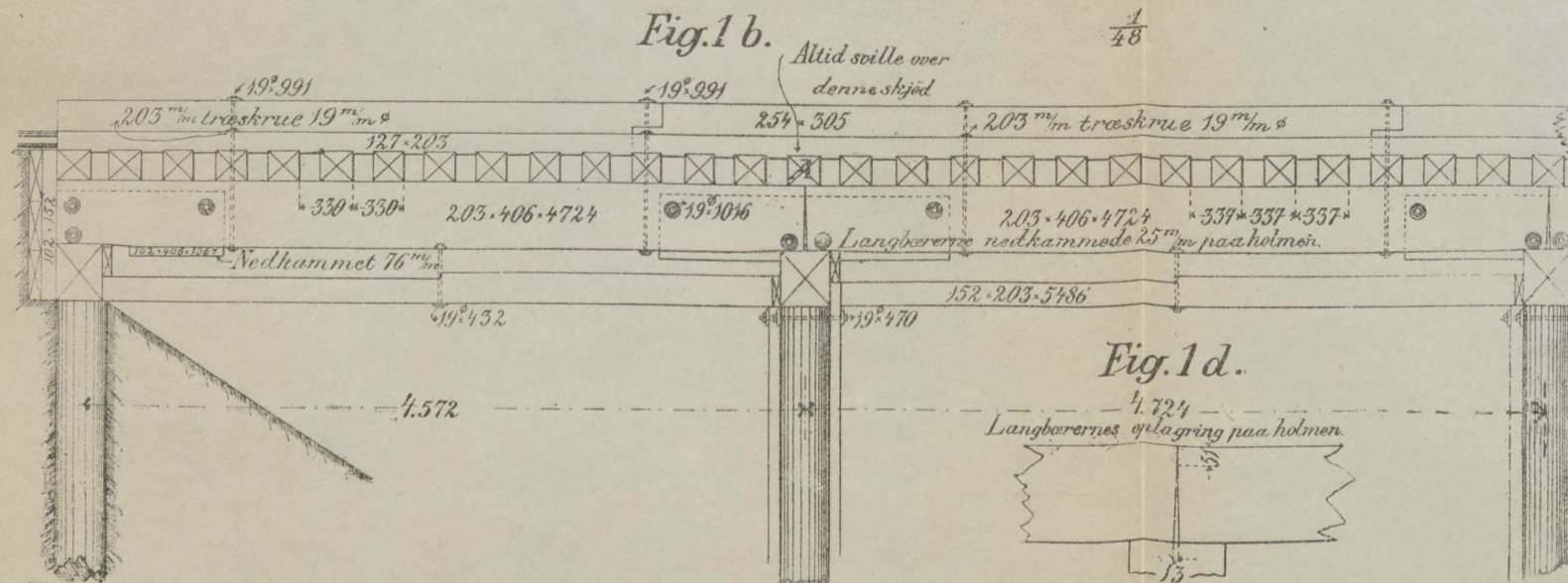


Fig. 1 d.

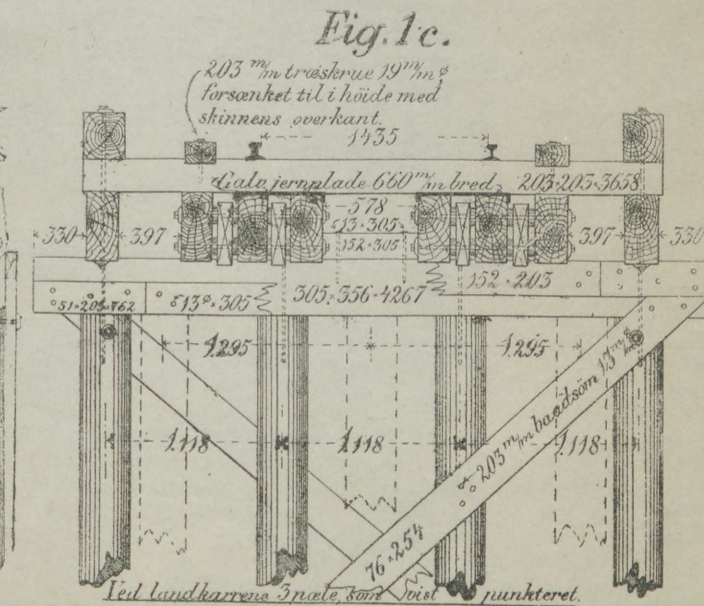
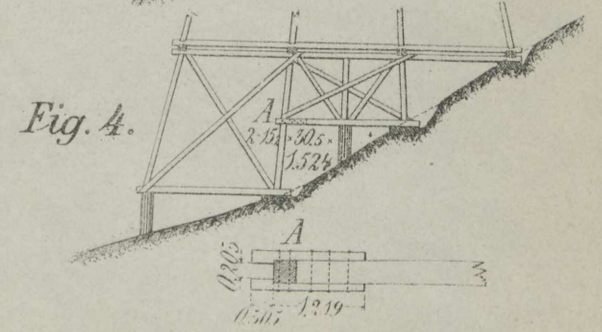
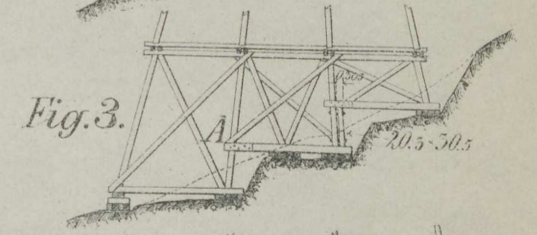
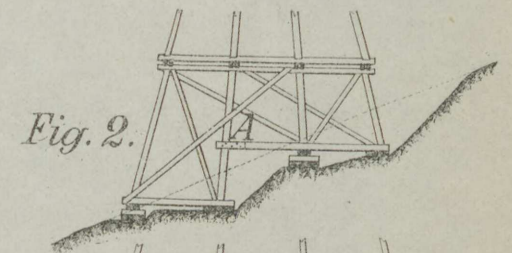
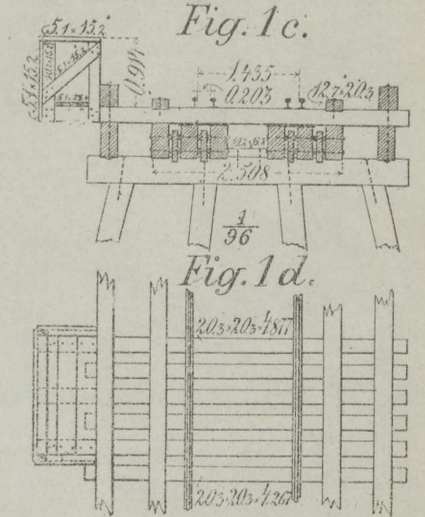
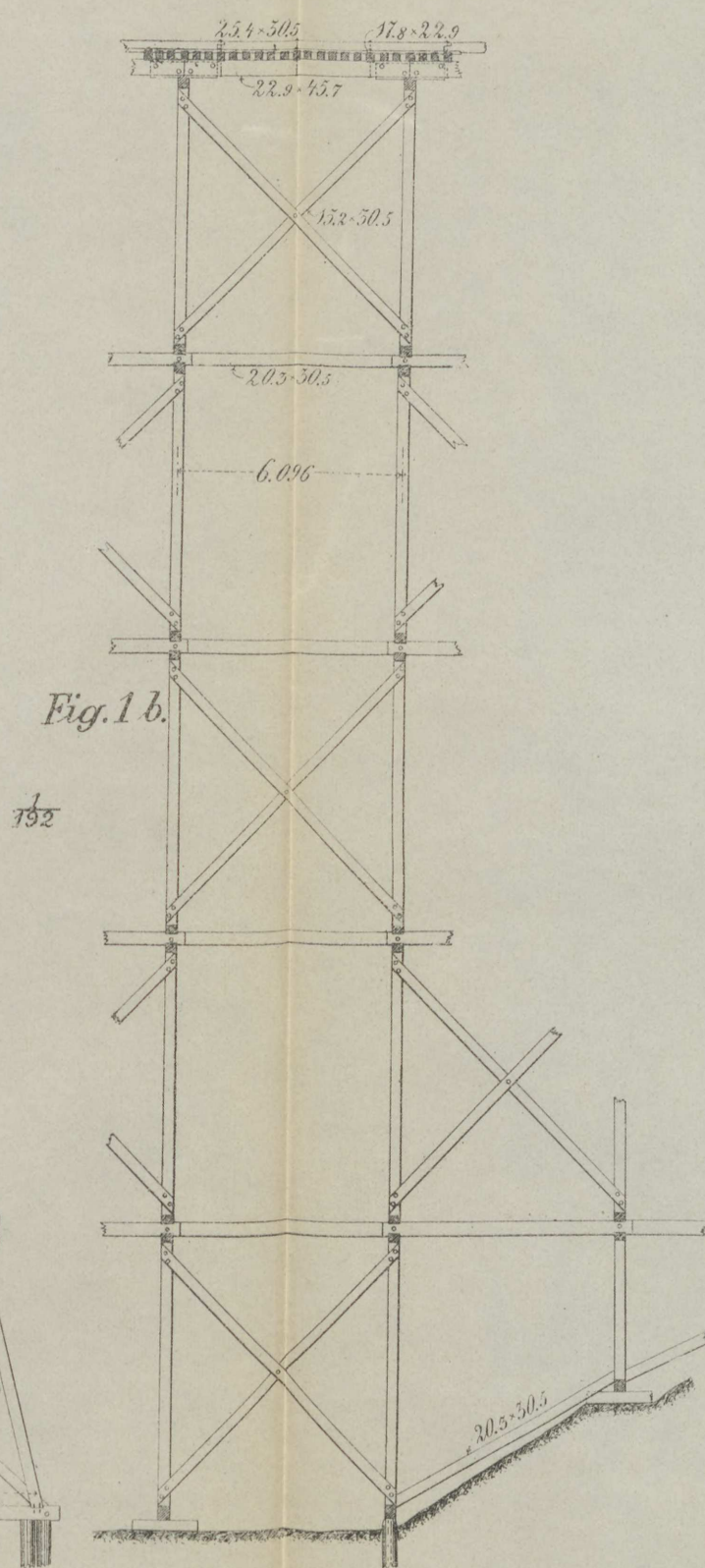
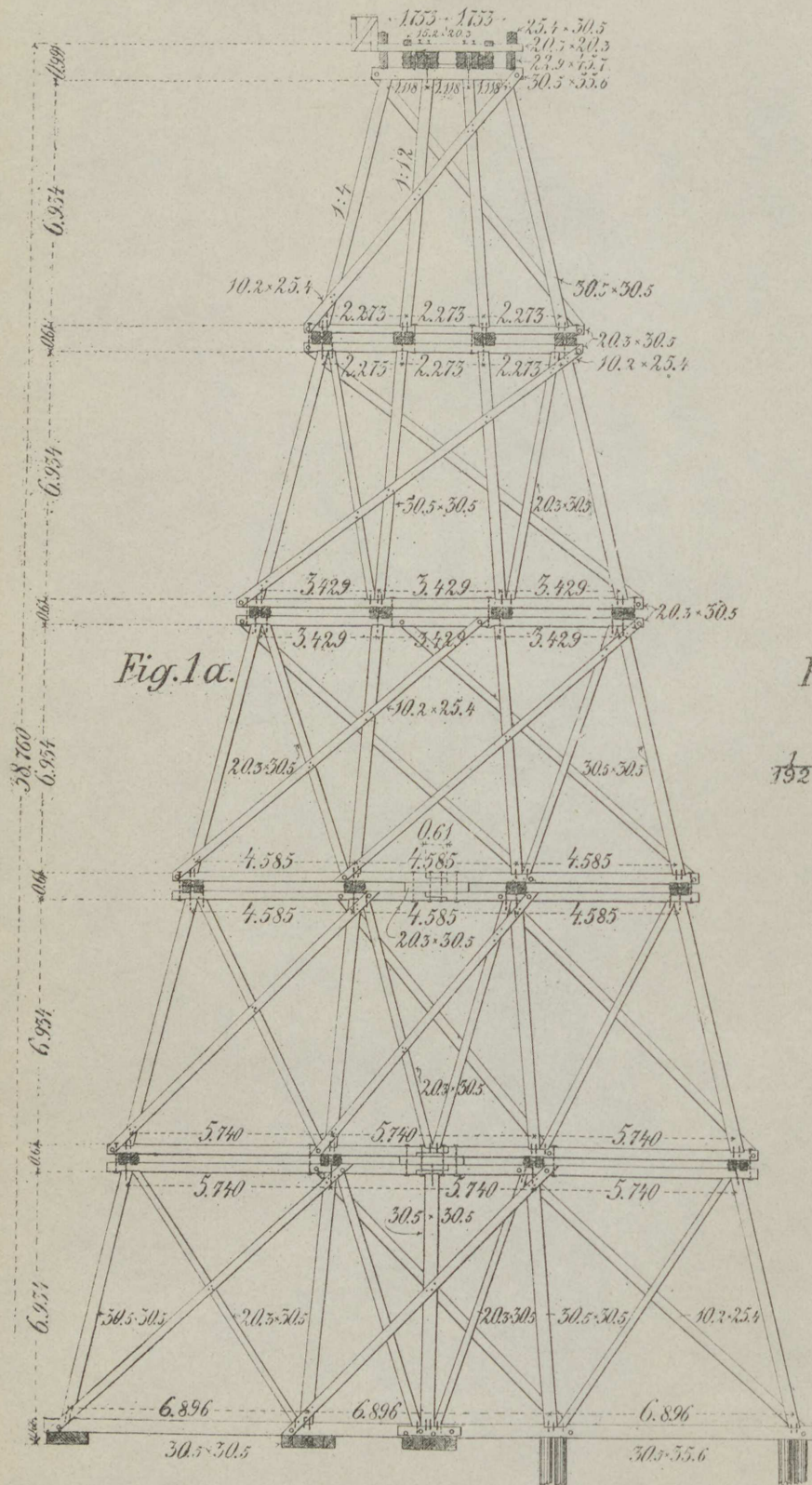
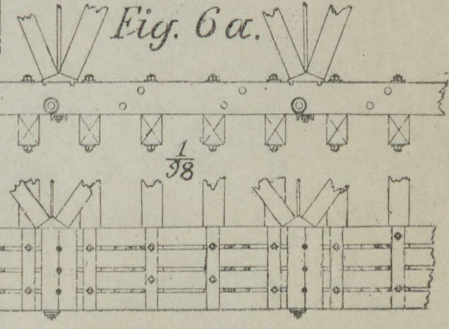
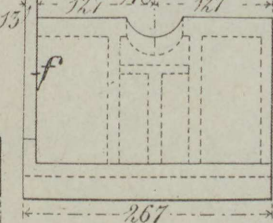
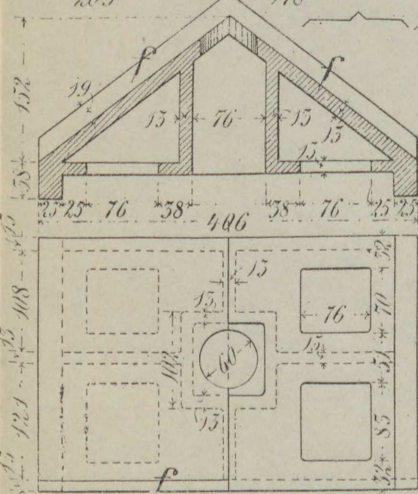
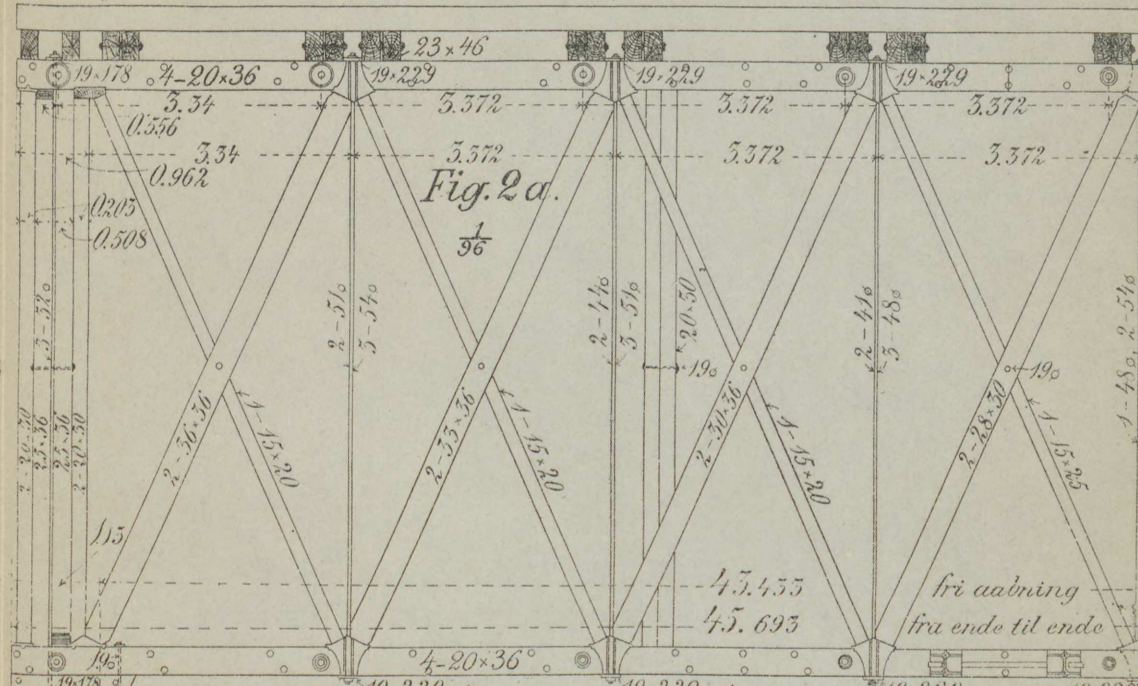
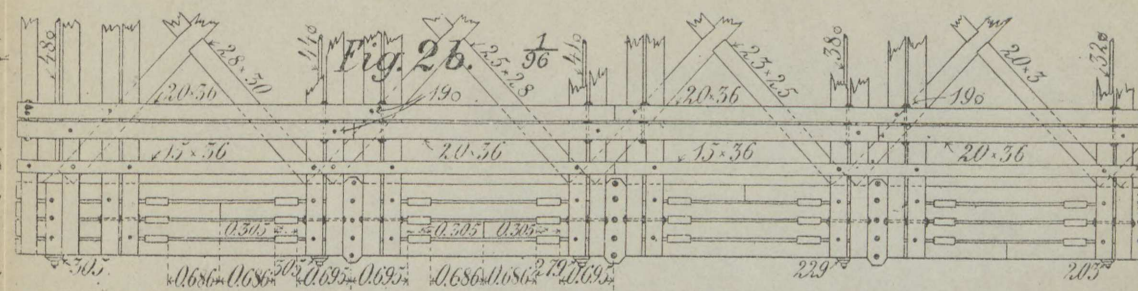
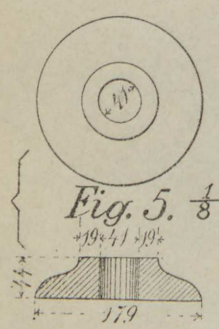
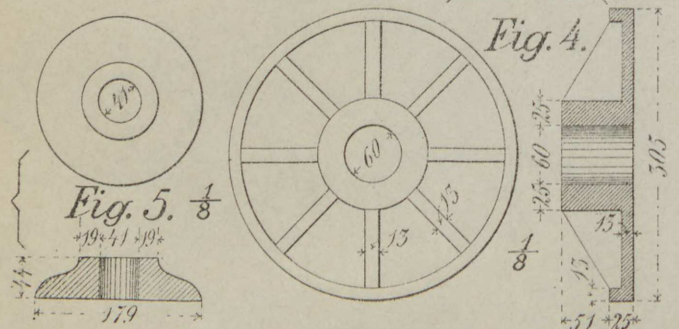
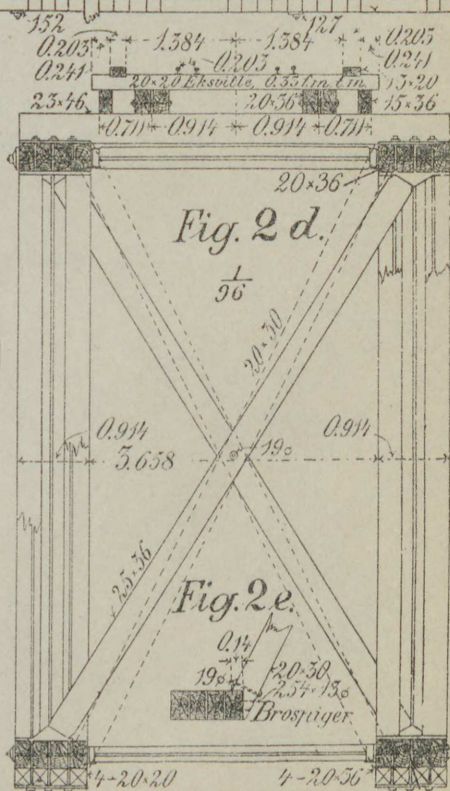
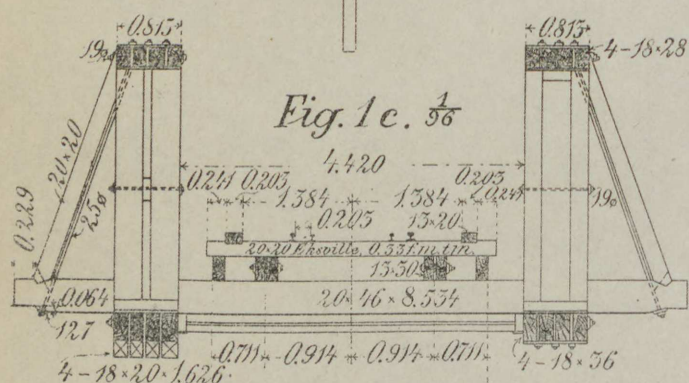
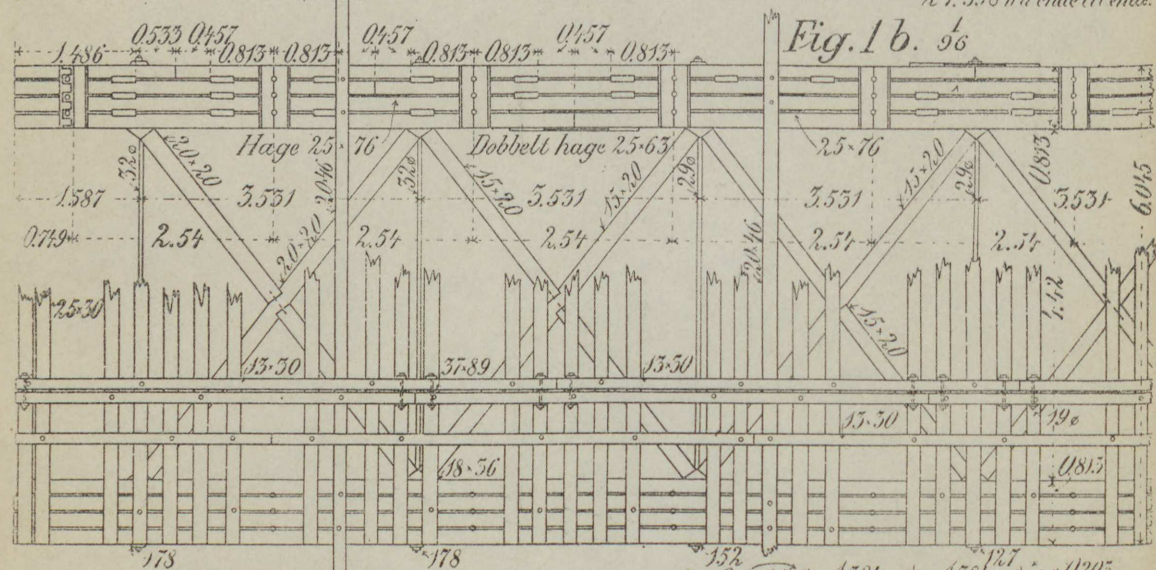
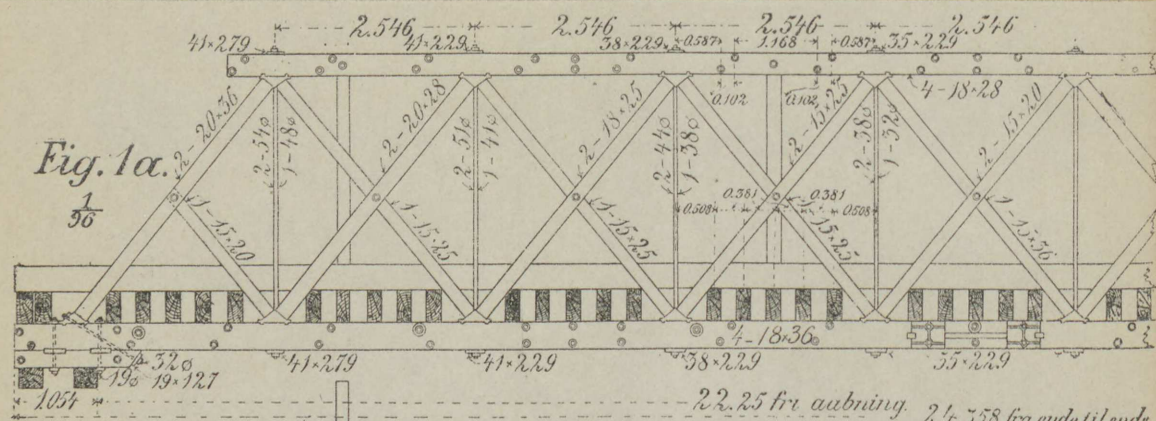
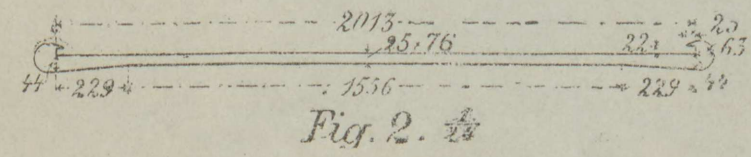
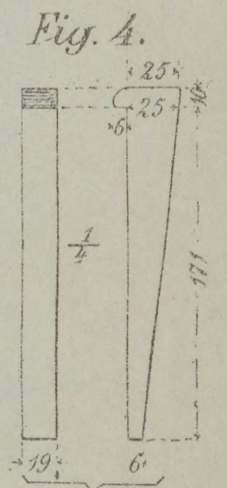
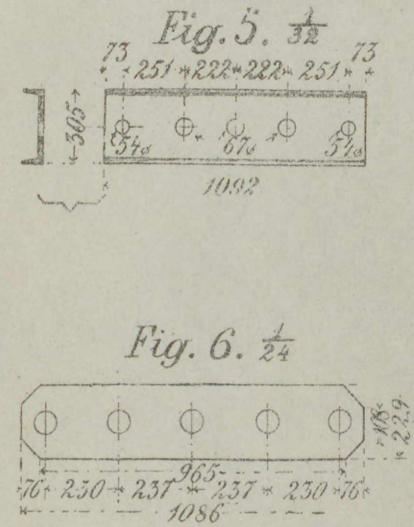
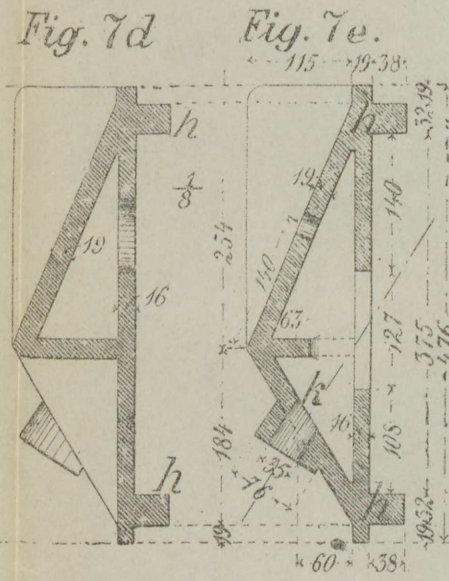
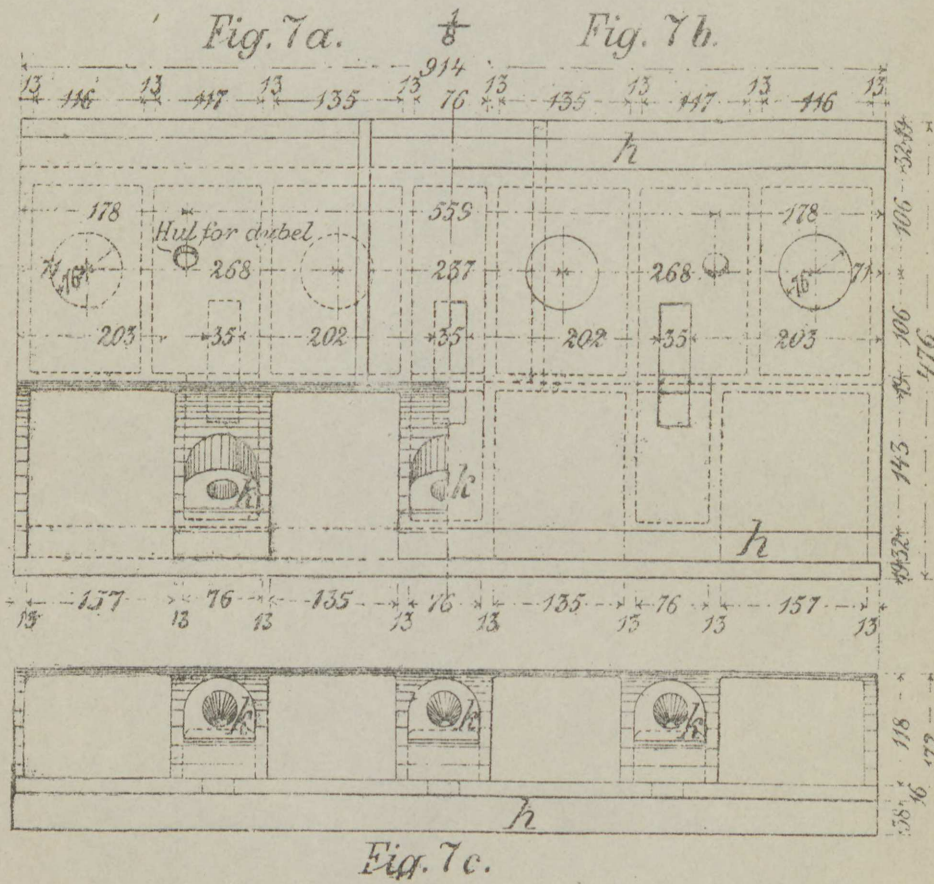
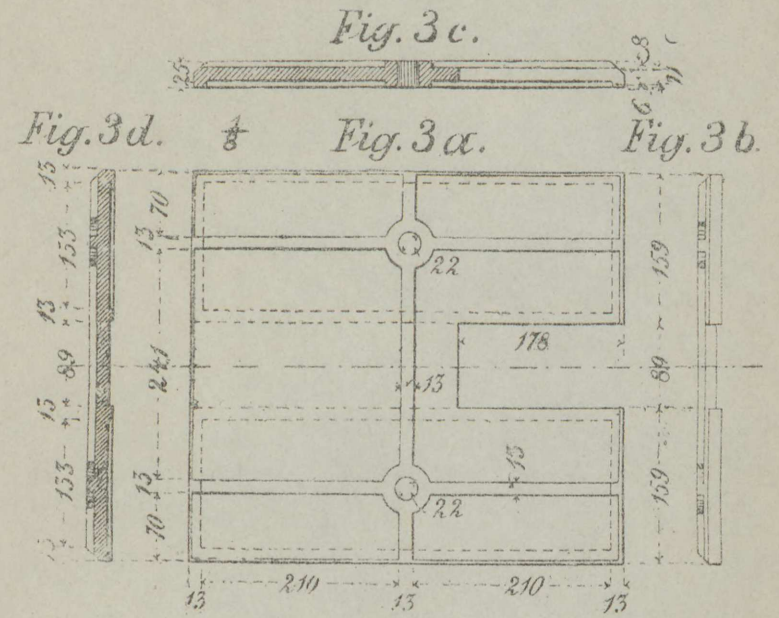
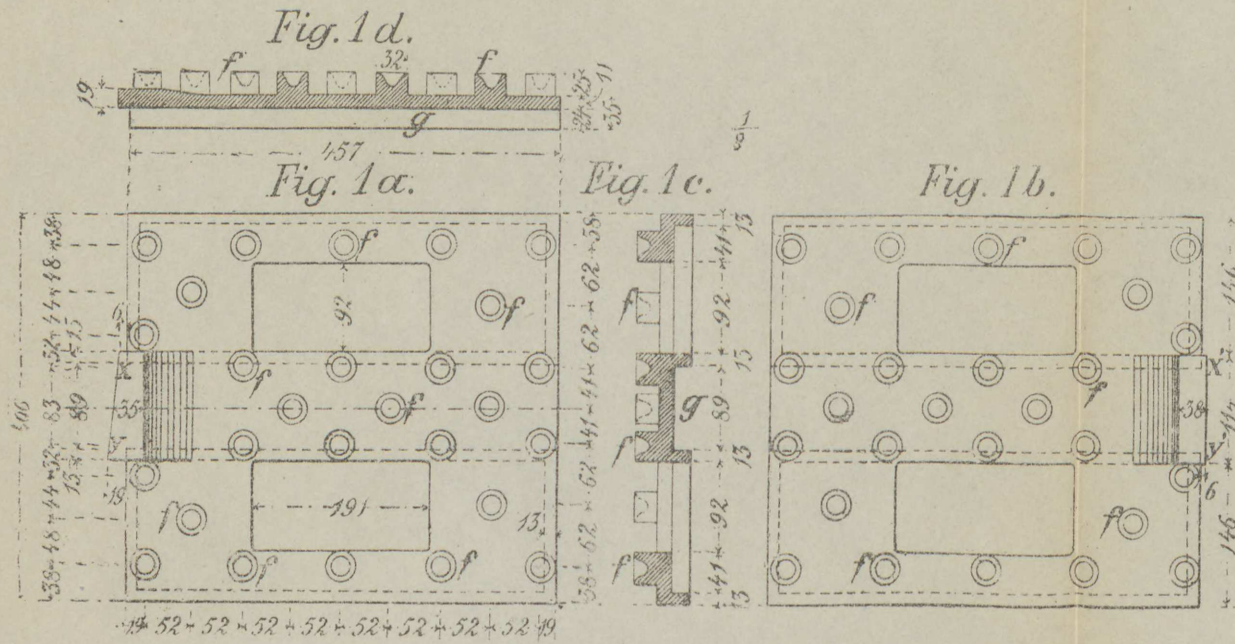
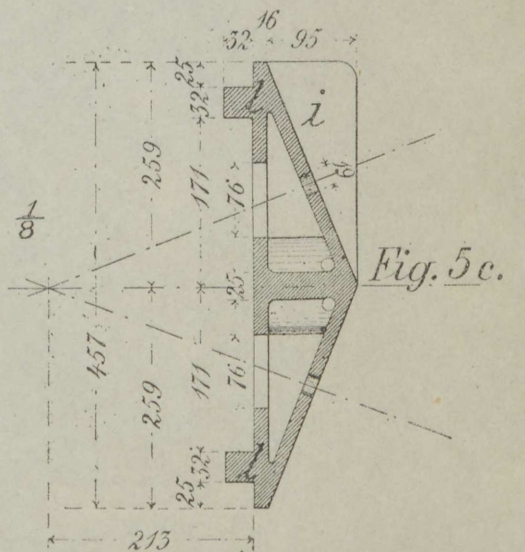
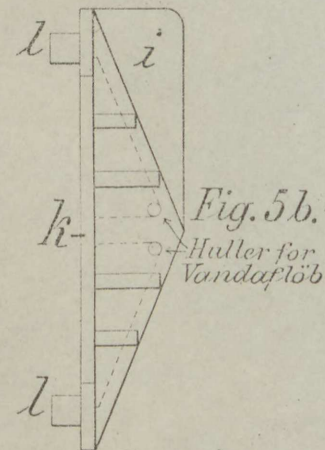
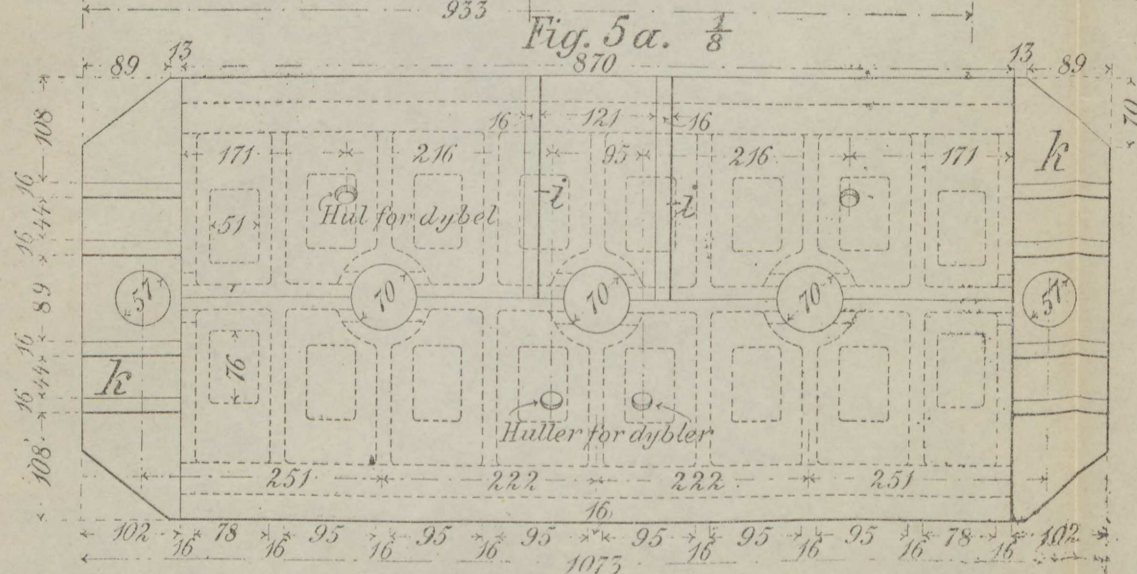
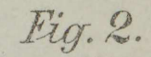
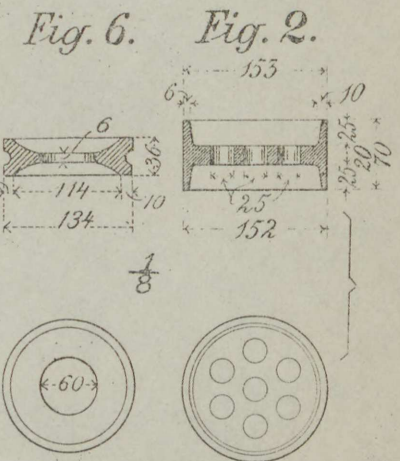
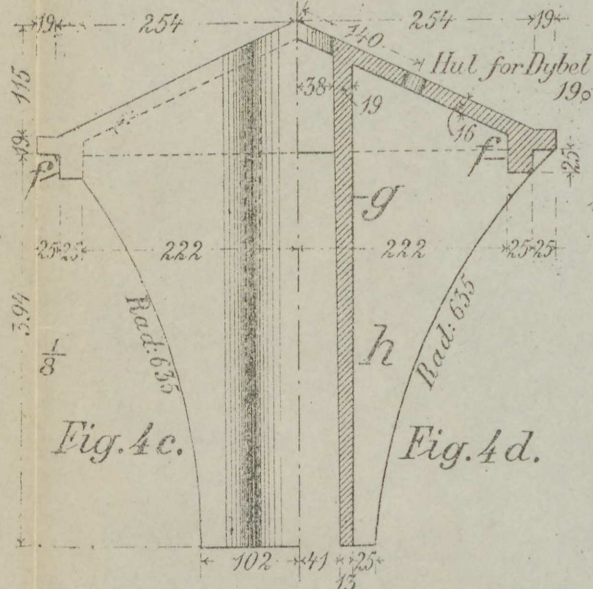
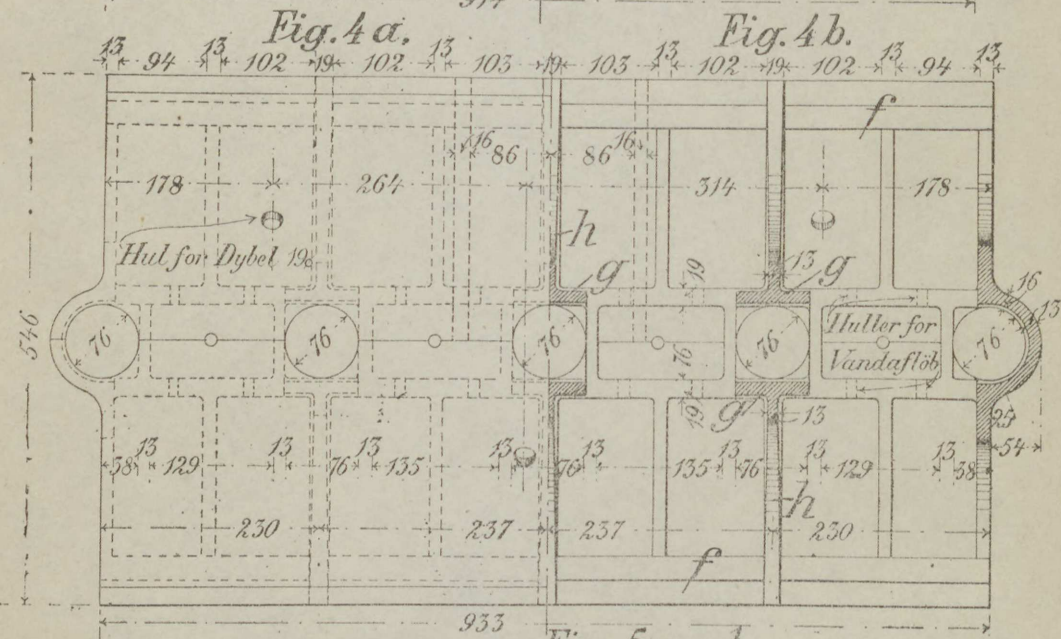
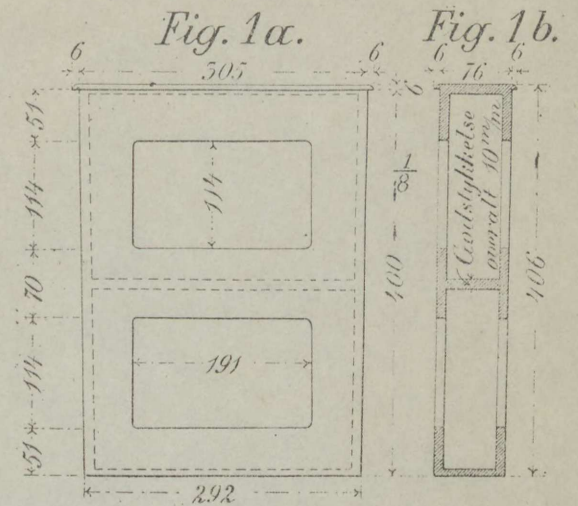
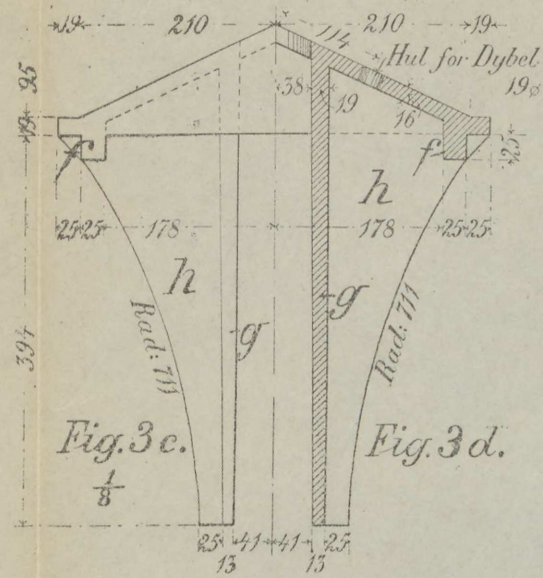
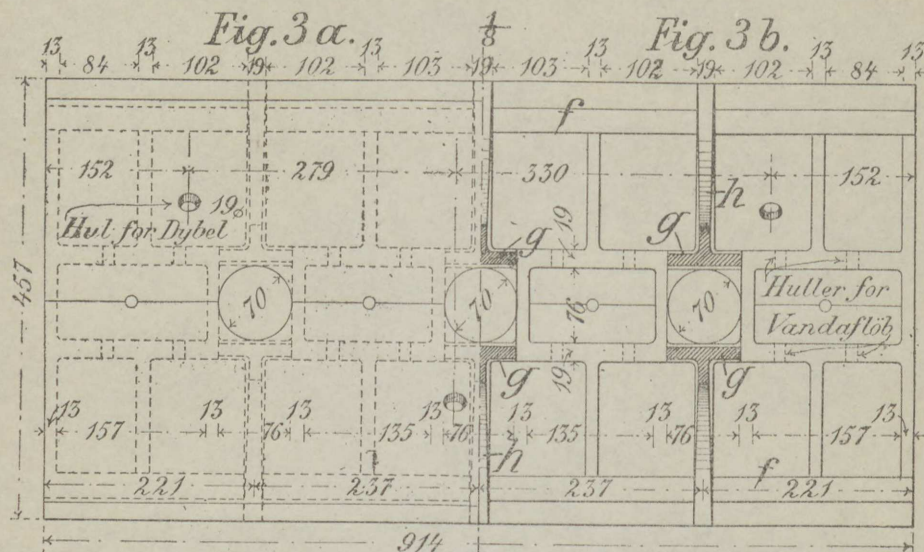


Fig. 1c.









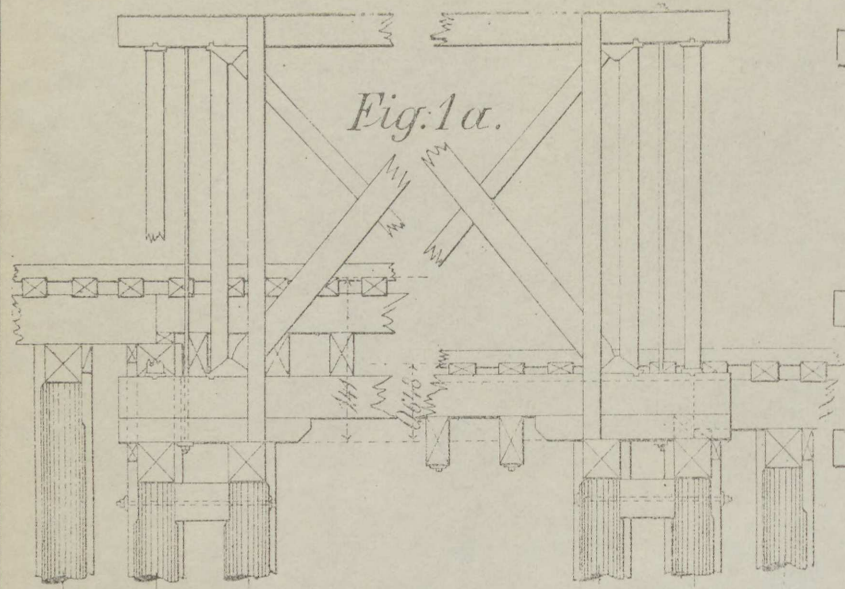
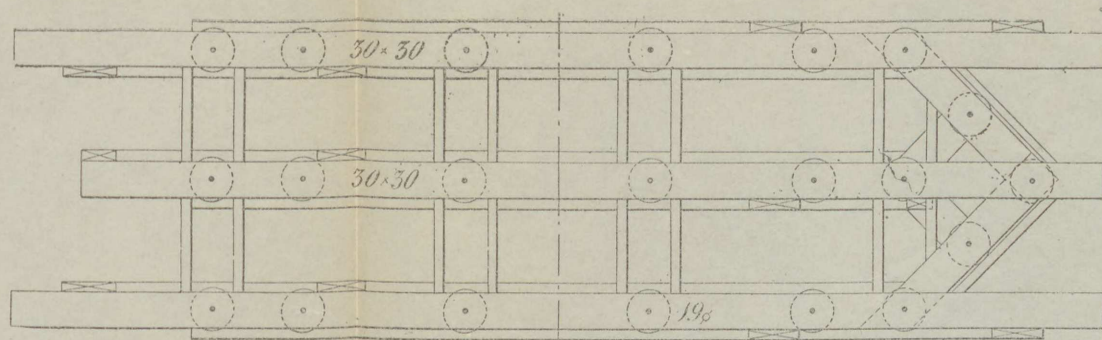
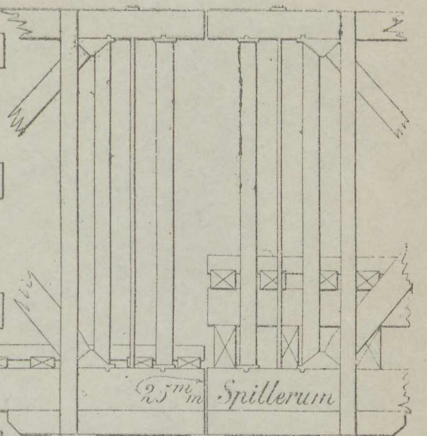


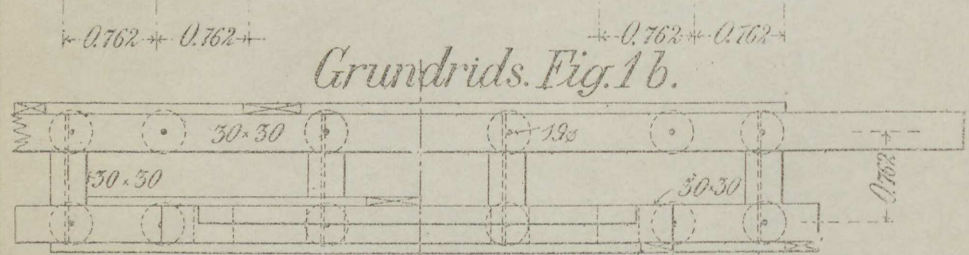
Fig. 1a.



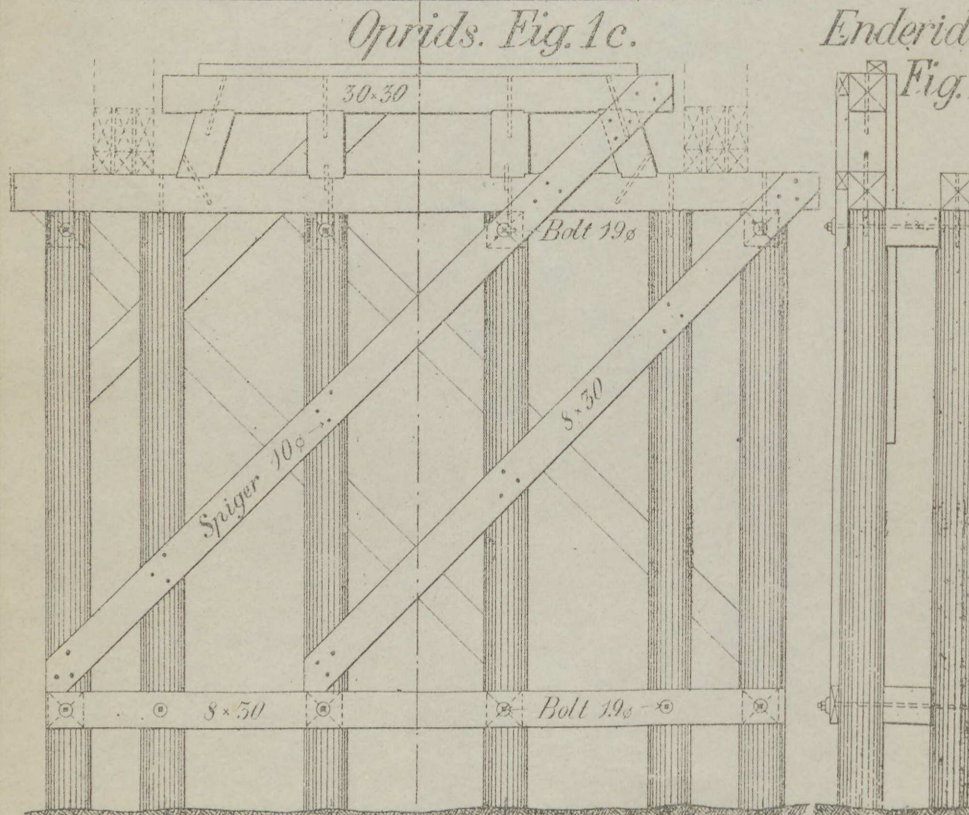
Grundrids. Fig. 2a.



25m Spillerum

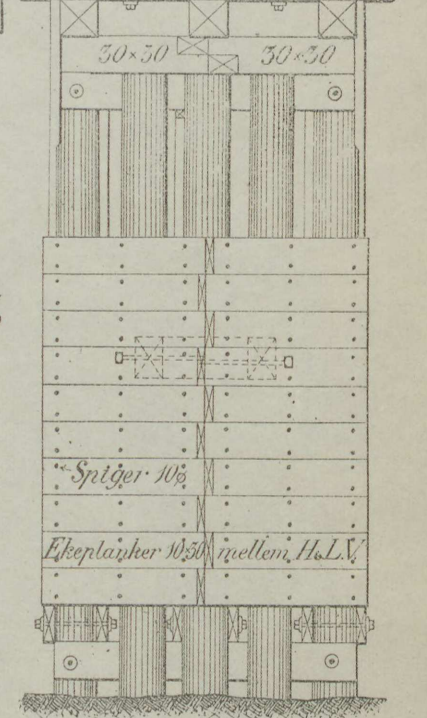
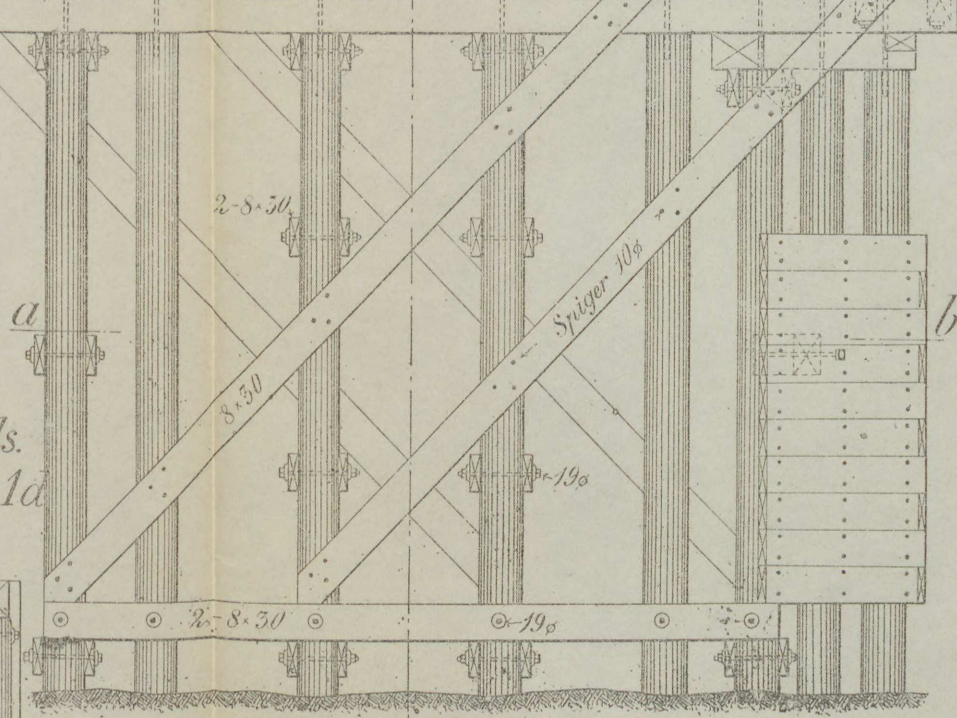


Grundrids. Fig. 1b.

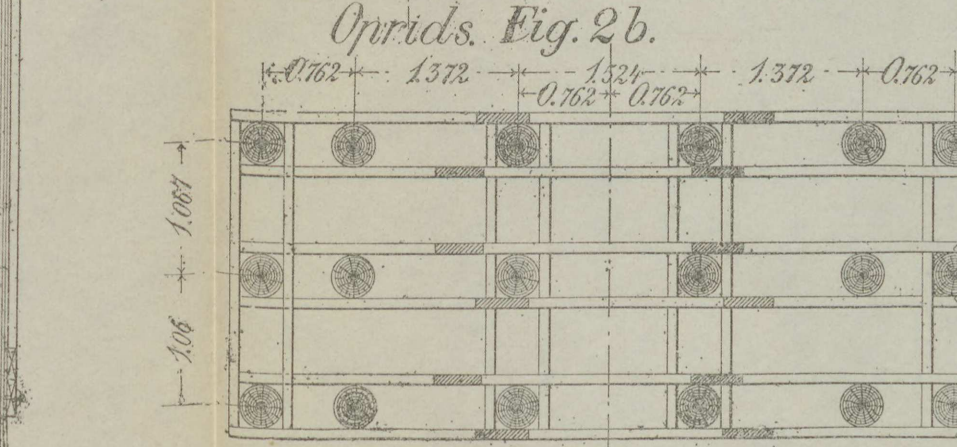


Oprids. Fig. 1c.

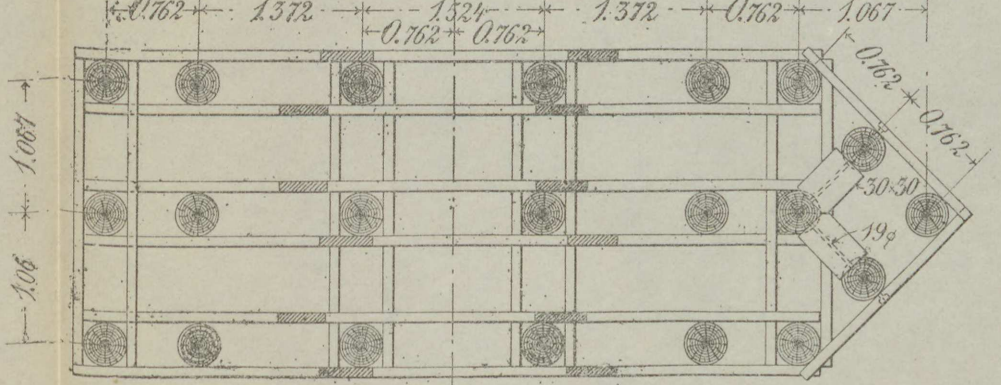
Enderids. Fig. 1d.



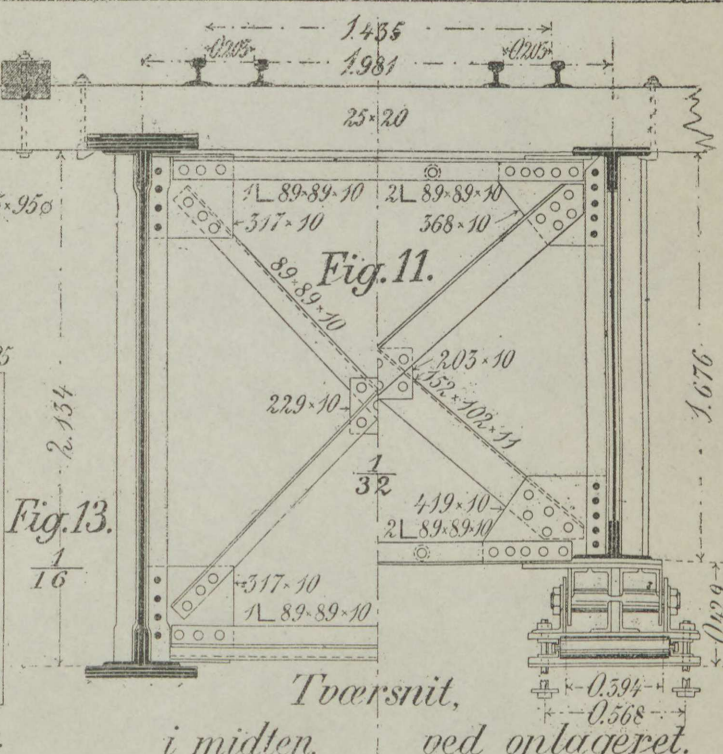
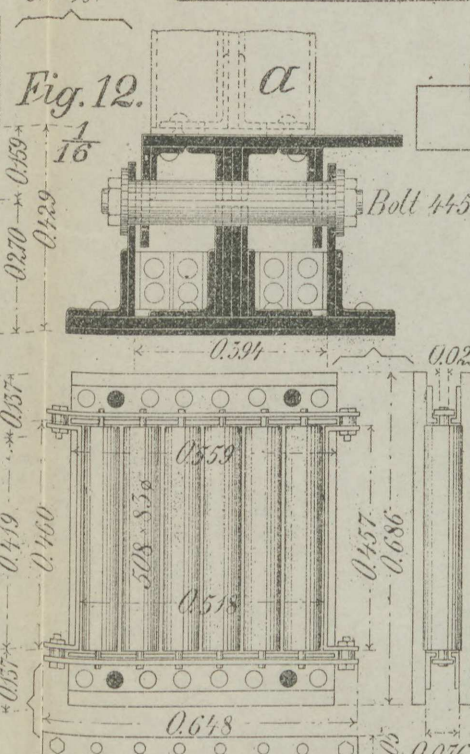
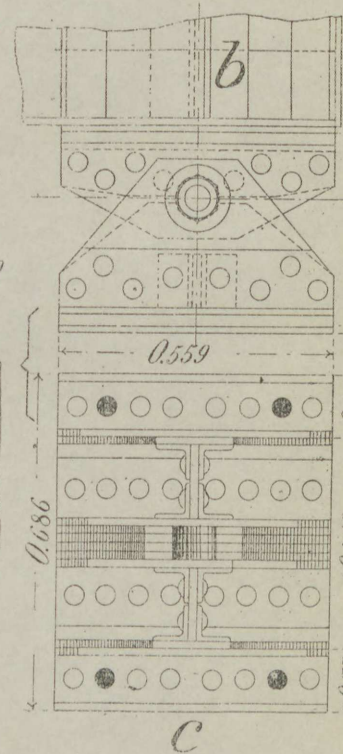
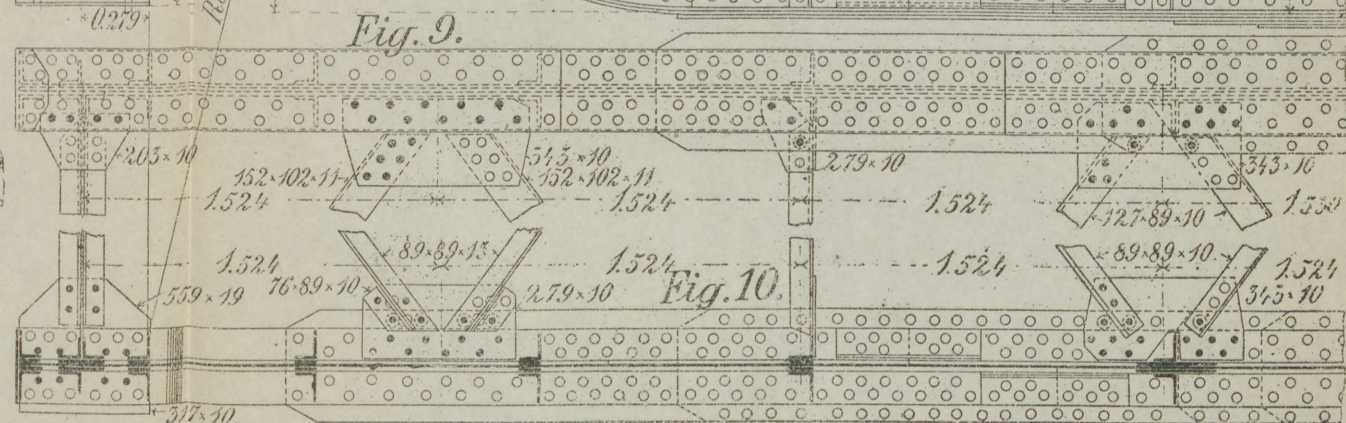
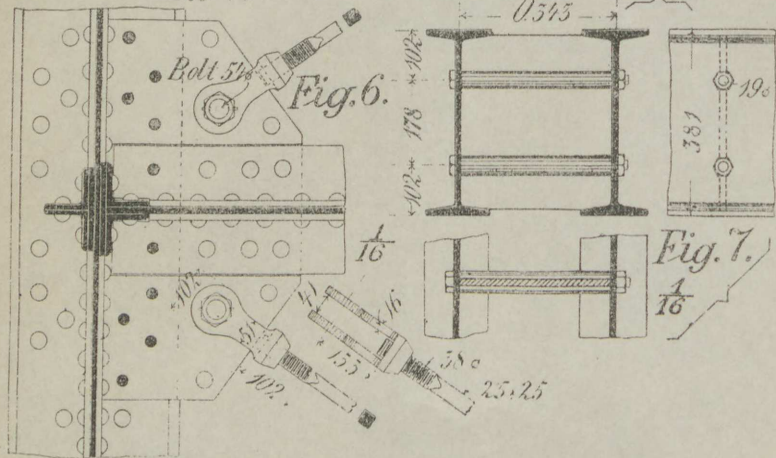
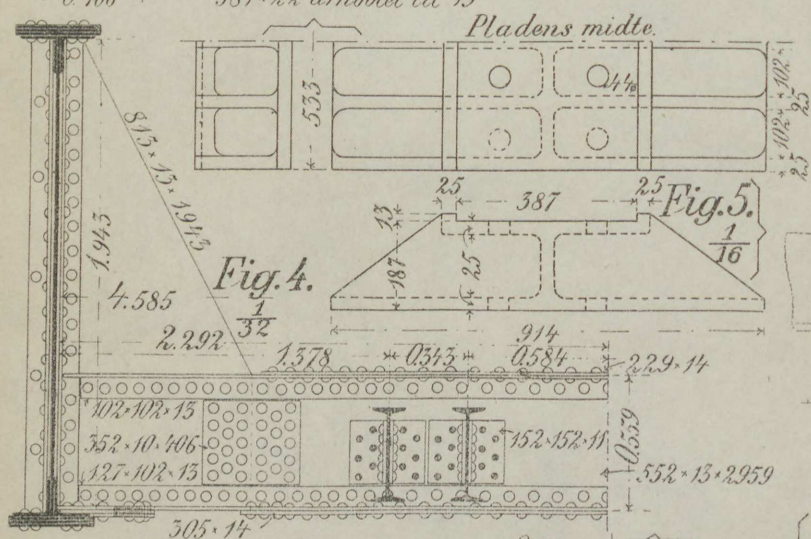
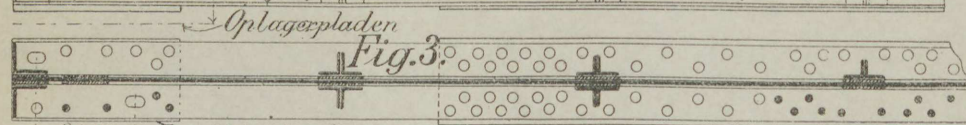
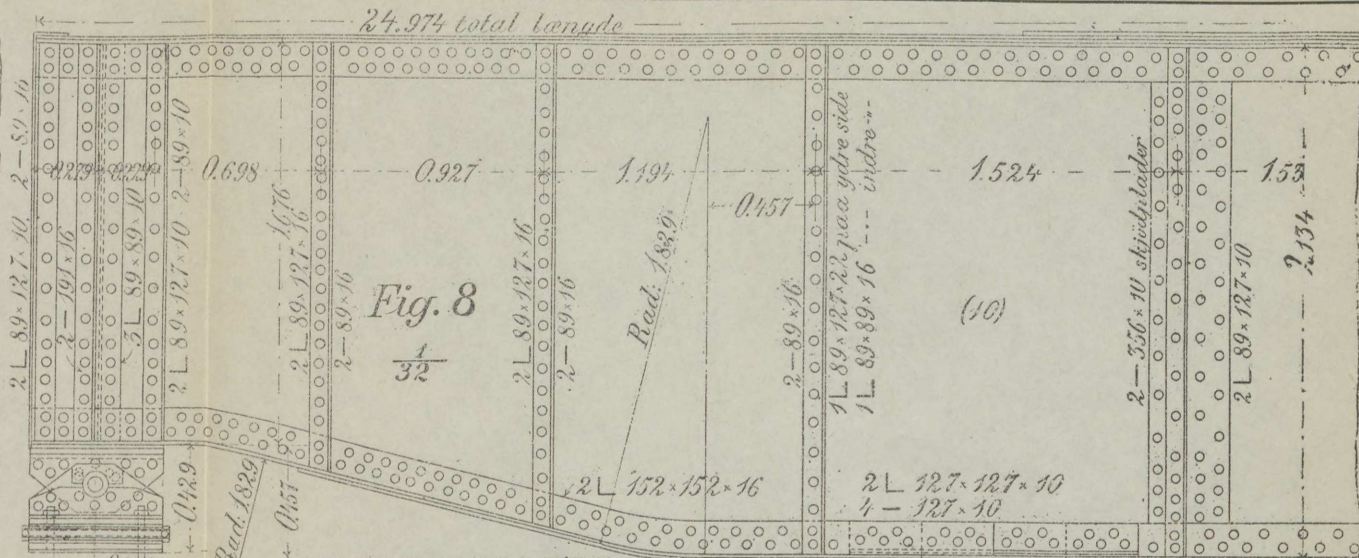
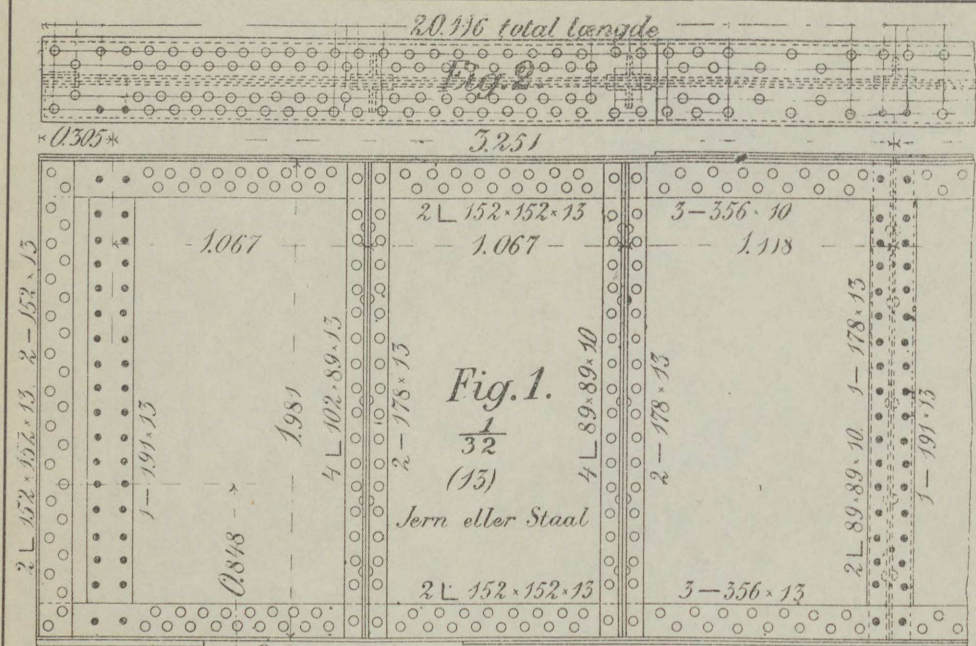
Enderids. Fig. 2c.



Oprids. Fig. 2b.



Snit a-b. Fig. 2d.



Tværsnit,
i midten. ved oplageret.

