

Podul peste Isar lângă Grünwald.

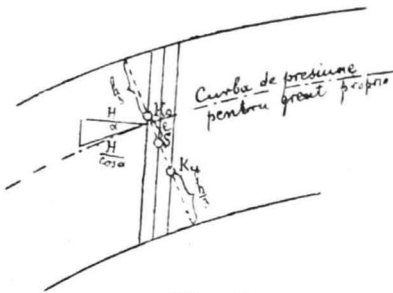
Podul pentru șosea care se întinde peste valea *Isarului* între *Höllriegelsgreuth* și *Grünwald* a fost construit, conform proiectului întocmit de Profesorul *Mörsch*, de către Societatea de beton armat din München. Podul are aproximativ 220 metri lungime totală și posedă două deschideri principale cu bolți de zidărie de câte 70 metri deschidere fiecare și 12.8 metri săgeată. La aceste două deschideri principale se adaugă, la malul drept, o deschidere secundară, iar la malul stâng patru deschideri secundare de câte 8.5 metri fiecare. Ele sunt toate acoperite cu o construcție de beton armat, cu grinzi drepte, care susține calea.

Deschiderile principale constau din bolți de zidărie cu trei articulații. Cauzele care au determinat alegerea acestui sistem de construcție au fost, pe lângă avantajele ce acest sistem oferă, lipsa de eforturi secundare provenind : din comprimarea materialului din boltă, din diferența de temperatură și din îndepărtarea culeelor, precum și condițiunile puse firmei de a prezenta într'un timp relativ scurt proiectul și calculul static, așa că nu eră timp de perdut cu calcule de sisteme de arcuri metalice nedeterminate.

Plecând dela considerația că limita deschiderii unui pod masiv e dată de greutatea proprie și de travaliul admisibil al materialului din boltă și că greutatea părții de deasupra bolții nu face decât să reducă deschiderea, s'a căutat la studiarea proiectului a se reduce cât mai mult greutatea sus menționatei părți, și de aceea platelagiul podului e construit din beton armat și e susținut de coloane tot de beton armat care se reazimă pe spatele bolței.

Podul a fost calculat pentru o aglomerație de oameni de 400 kgr/m² și o greutate a cilindului compresor de 20 tone.

Pentru dimensionarea bolții s'a aplicat metoda Profesorului Mörsch care se găsește publicată în „Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen“ volumul II din 1900, și care se bazează pe relația și liniile de influență a momentelor relativ la sâmburele central. Principiul acestei metode este de a găsi, pentru o secțiune oarecare, o grosime h a rostului și o ordonată y a centrului său de greutate astfel ca în cazul cel mai defavorabil al aranjării greutăților, eforturile atât în marginea de sus, cât și în marginea de jos a rostului să nu întrecă limita admisibilă.



(Fig. 1).

Pentru aceasta se calculează, pe baza unei prime ipoteze, poziția curbei de presiune pentru greutatea proprie (fig. 1), întrebuintând ecuația momentelor pentru fiecare secțiune și se determină apoi cu ajutorul liniilor de influență relativ la sâmburele central, momentele provenind din greutatea

accidentală. Cum nu e vorba decât de eforturi de compresiune, în acest calcul nu intră decât momentele pozitive M_{ku} și momentele negative M_{ko} provenite din greutatea accidentală și obținem, presupunând o secțiune perpendiculară pe curba de presiune a greutății proprii, următoarele ecuații a momentelor pentru greutatea proprie :

$$M_{ko} = -\frac{H}{\cos \alpha} \left(\frac{h}{6} - e \right)$$

$$M_{ku} = +\frac{H}{\cos \alpha} \left(\frac{h}{6} + e \right).$$

Pentru un modul de rezistență $W = \frac{1}{6}bh^2$ obținem pentru eforturile σ din marginea de sus și cea de jos a rostului următoarele ecuații :

$$\frac{H}{\cos \alpha} \left(\frac{h}{6} + e \right) + M_{ku} = \sigma \cdot \frac{1}{6}bh^2$$

$$\frac{H}{\cos \alpha} \left(\frac{h}{6} - e \right) + M_{ko} = \sigma \cdot \frac{1}{6}bh^2.$$

Adunând aceste două ecuații, obținem :

$$\frac{H}{\cos \alpha} \cdot \frac{h}{3} + M_{ko} + M_{ku} = \frac{\sigma}{3} bh^2$$

adică o ecuație de gradul al doilea în h cu ajutorul căreia putem calcula grosimea h a rostului și în care M_{ko} și M_{ku} se vor înlocui cu valorile lor numerice fără nici un semn.

Dacă facem diferența celor două ecuații obținem excentricitatea e cu cât trebuie scoborât mijlocul rostului dedesubtul punctului de aplicație al curbei de presiune pentru greutatea proprie și anume :

$$e = \frac{M_{ko} - M_{ku}}{2H} \cdot \cos \alpha$$

iar excentricitatea într'o secție verticală va fi :

$$\eta = \frac{e}{\cos \alpha} = \frac{M_{ko} - M_{ku}}{2H}$$

Forma astfel obținută pentru boltă ne reprezintă o formă apropiată care se mai poate corecta repetând încă odată calculele. În cazul de față s'au calculat încă odată, pentru forma obținută a bolții, travaliurile cu ajutorul momentelor relative la sâmburele central și anume cele provenite din greutatea proprie prin calcul și cele ce rezultă din greutatea accidentală cu ajutorul liniilor de influență. Din cauza greutății proprii relativ mică, a fost necesar să se calculeze până și cele mai mici valori ale eforturilor din extremitățile rosturilor, spre a fi siguri că nu sunt eforturi de tensiune. Travaliul admisibil al betonului la compresiune a fost fixat la 36 kgr/cm², totuși travaliurile la extremități sunt ceva mai mici decât cele calculate, din cauză că grosimile rosturilor au fost rotunjite la centimetru. Tabloul următor ne dă un rezumat al limitelor travaliurilor la extremități :

Rostul	kgr/cm ²	kgr/cm ²	Rostul	kgr/cm ²	kgr/cm ²
I	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_o = +3.8 \\ \sigma_u = +33.7 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} +19.7 \\ +19.2 \end{array} \right.$	V	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_o = +34.6 \\ \sigma_u = +34.2 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} + 3.6 \\ + 2.1 \end{array} \right.$
II	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_o = +34.8 \\ \sigma_u = +35.5 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} + 9.4 \\ + 9.1 \end{array} \right.$	VI	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_o = +34.7 \\ \sigma_u = +34.4 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} + 5.0 \\ + 3.2 \end{array} \right.$
III	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_o = +34.7 \\ \sigma_u = +34.8 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} + 5.3 \\ + 4.5 \end{array} \right.$	VII	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_o = +35.6 \\ \sigma_u = +35.0 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} + 7.9 \\ + 5.5 \end{array} \right.$
IV	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_o = +35.0 \\ \sigma_u = +35.0 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} + 3.5 \\ + 2.3 \end{array} \right.$	VIII	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_o = +35.4 \\ \sigma_u = +35.1 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} +14.7 \\ +11.9 \end{array} \right.$

Bolta are la cheie o grosime de 75 cm., la naștere 95 cm. și ajunge la rosturile V și VI până la 120 cm., care este cea mai mare grosime a ei.

După cum se vede din tabloul de mai sus, materialul e bine întrebuințat așa că forma și grosimea bolții sunt juste. Eforturi de întindere nu sunt nicăeri, iar eforturile de compresiune se scoboară, în cazul cel mai defavorabil, până la 2.1 kgr/cm². Cum presiunea arcului poate fi evaluată în mijlociu la 2000 tone pe întreaga lățime de 8 m., s'ar obține, în cazul când punctul de aplicație al presiunii s'ar scobori cu 1 cm. supt mijlocul rostului celui mai mare, un efort la flexiune de :

$$\sigma_i = \frac{2000 \times 0.01}{\frac{1}{6} \times 8 \times 1.2^2} = \text{rotund } 10 \text{ tn/m}^2, \text{ sau } 1 \text{ kgr/cm}^2.$$

Cu alte cuvinte: pentru fiecare centimetru de îndepărtare a arcului dela forma primitivă, eforturile la extremitățile rostului se schimbă cu 1 kgr/cm². Pentru o deviere a arcului de 4 până la 5 centimetri s'ar obține deci în secțiunile IV până la VI eforturi de tensiune. Asemenea devieri nu sunt cu totul excluse, fie din cauza execuției neexacte (greșite), fie din cauza scoborării inegale a cintrelor; de aceea bolta a fost prevăzută cu o armatură de fer. Această armatură nu este deci necesităată de calcul; ea este pusă numai din motive practice, spre a mări siguranța construcțiunii. Armatura constă, atât sus cât și jos, din 9 feare rotunde de 28 mm. diametru, repartizate pe întreaga lărgime de 8.0 m., a bolții la 1.00 m. distanță unul de altul. Din metru în metru fearele de sus sunt legate cu cele de jos prin scărișoare rotunde (etrieri) de 7 mm. grosime.

Marea influență a exactei forme a bolții ne arată în mod evident cât de puțin potrivită ar fi o construcție grafică a curbei de presiune pentru o boltă de o deschidere așa de mare, căci la scara de 1:100 ar trebui ca exactitatea să fie de $\frac{1}{10}$ mm. pentru a putea obține eforturile exact până la 1 kgr/cm².

Necesitatea ca la construcție să se realizeze cât mai mult posibil ipotezele calculului, a hotărât ca articulațiile să se facă din oțel turnat. Articulațiile de plumb au fost excluse; s'ar fi putut face însă articulații din piatră, care deși s'au întrebuințat în timpul din urmă la mai multe poduri mari, totuși din cauza încercărilor nesuficiente făcute cu ele și a inconvenientelor

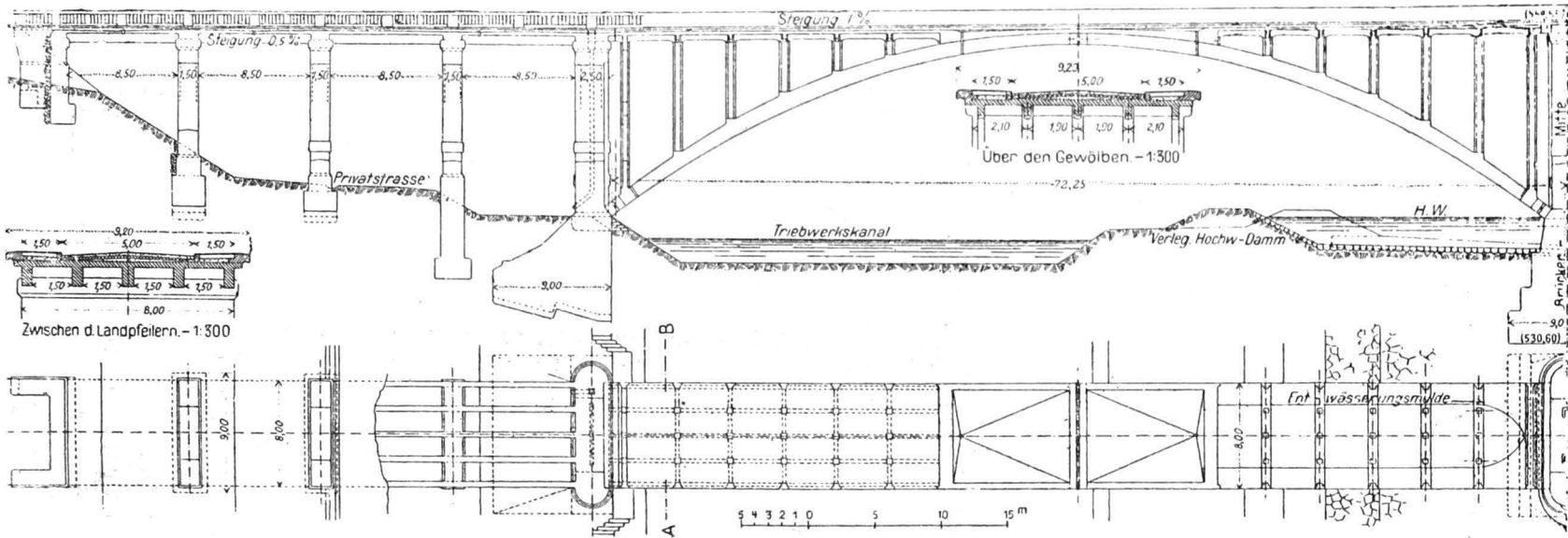


Fig. 2. — Secție longitudinală și plan a podului peste Isar lângă Grünwald. Jumătatea din stânga.

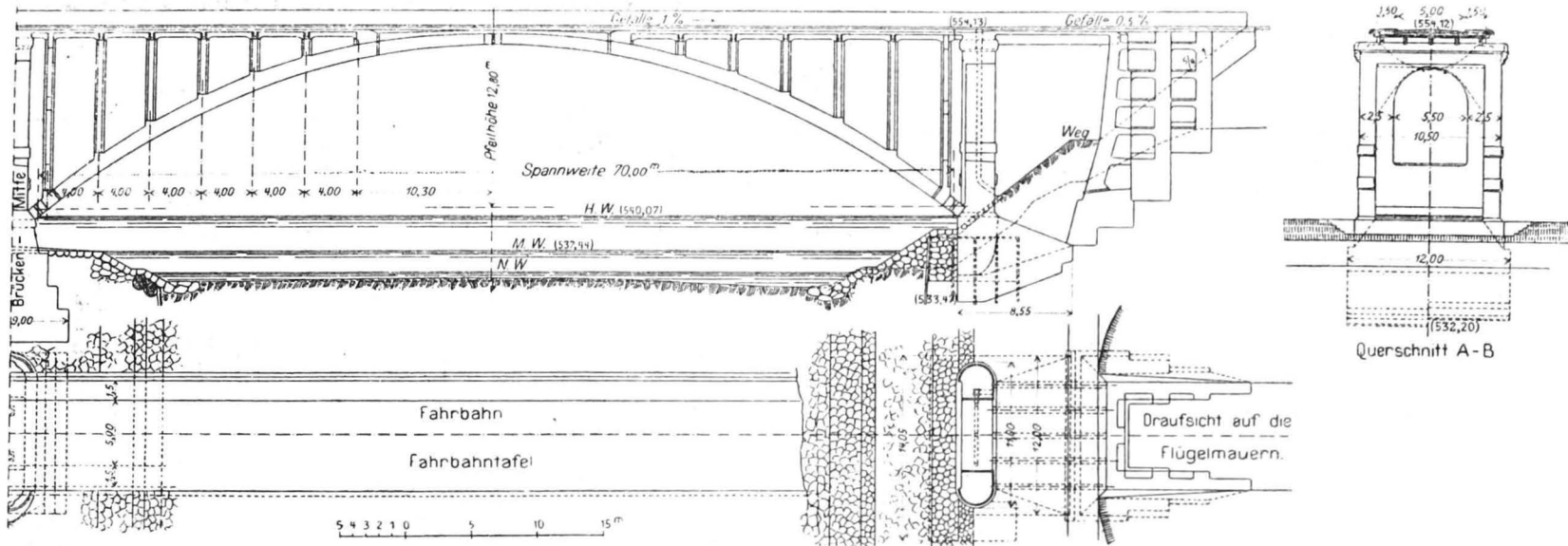


Fig. 3.— Secție longitudinală, transversală și plan a podului peste Isar lângă Grünwald. Jumătatea din dreapta.
Scara 1:600.

ce le vom enumera mai jos, s'a preferat a se întrebuinta articulații de oțel turnat. Când întrebuintăm articulații de peatră, spre a nu se obține presiuni prea mari, li se dă o rază de curbura foarte mare, din care cauză însă punctul de aplicare al presiunii articulației nu e destul de bine determinat, iar la rotire se poate produce o foarte mare rezistență de frecare. Un alt inconvenient, asupra căruia nu se poate îndestul insista, rezultă tot din cauza razei mari: căci la cea mai mică îndepărtare a culeelor, punctul de contact al articulației, pentru a permite rotirea, trebuie să parcurgă relativ un drum foarte mare și va lua o poziție excentrică. În această privință avem un exemplu convingător la podul construit de Societatea germană de beton la expoziția din *Düsseldorf* din 1902, la care punctul de contact al articulațiilor era la cheie la treimea de sus și la naștere la treimea de jos. Toate aceste inconveniente nu se produc cu articulațiile de oțel, care mai au și avantajul că costă mai puțin și pot fi așezate mai exact.

Articulațiilor li s'a dat dimensiunile notate în figurile 4 și 5

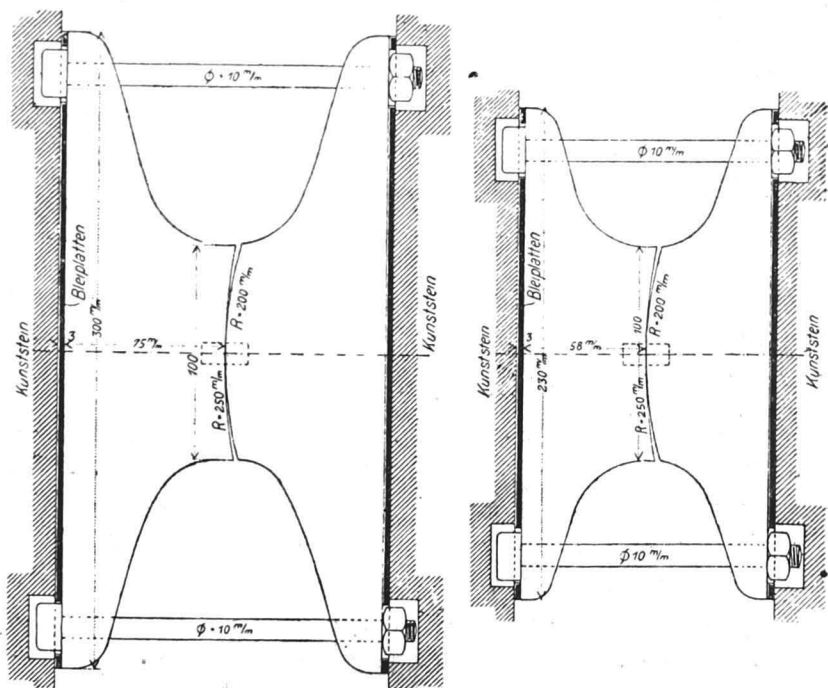


Fig. 4. — Articulația dela naștere. Fig. 5. — Articulația dela cheie.
Scara 1:4.

Ele repauzează cu fața lor plană pe niște blocuri de beton armat prin intermediul unei foi de plumb de 4 mm. grosime. Presiunea pe suprafața de reazăm este de 100 kgr/cm². Articulațiile au fost calculate pentru un travaliu admisibil la flexiune de 1200 kgr/cm² și ambele fețe se ating prin suprafețe cilindrice cu raze de 200 și 250 mm. Articulațiile pot deci să se rostogolească una peste alta; totuși, chiar dacă culeele s'ar îndepărta astfel ca deschiderea să se mărească cu 2 cm., punctul de contact nu ar avea de parcurs, pe suprafața cu raza cea mică, decât un drum de 0,7 mm. Cele două părți ale articulații au fost legate una de alta, în timpul montagiului, prin patru buloane de câte 10 mm. diametru și prin două pene pentru a se putea realiza ca punctul lor de contact să fie la mijloc. Lungimea fiecărei articulații este de 78 cm., astfel că între ele rămâne un loc liber de 2 cm. Articulațiile, care au împreună o greutate de 10 tone, au fost furnizate de turnătoria de oțel Mannheim. Pentru încercări au fost turnate pe lângă două epruvete și o articulație dela naștere de 20 cm. lungime, asupra căroră s'au făcut încercări de rezistență la laboratoriu tehnic de pe lângă școala tehnică superioară din *München*. Epruvetele de oțel turnat au avut o rezistență la tracțiune una de 5140 kgr/cm² iar cealaltă de 5220 kgr/cm² și o lungire de 11.3% respectiv 19.2%. Iar tabela de mai jos ne arată rezultatul încercărilor făcute asupra celor două bucăți de articulație cu încărcări variind din 60 în 60 tone:

Incărcarea:	tn.	1	30	60	120	180	240
Lățimea părții de contact:	(în față mm.	1.0	6.0	10.5	15.0	20.0	30.0
	(în dos „	2.0	8.0	11.2	17.4	20.0	30.0
Comprimarea:	„	0	0	0	0.3	0.5	0.7

După cum s'a spus deja, dela articulații presiunea se transmite mai întâi la un bloc de beton armat, care trebuie să aibă o mare rezistență fiindcă presiunea pe fața posterioară a articulației atinge un maximum de 100 kgr/cm². La început se prevăzuseră blocuri de granit; dar în urma rezultatelor favorabile ce s'au obținut la laboratoriu tehnic de încercări din *München* cu blocurile de beton armat în privința rezistenței lor la compresiune, precum și din cauză de economie, s'a adoptat blocuri de beton armat. Blocurile dela spatele articulației lor sunt comprimate nu-

mai pe o porțiune a suprafeței lor; asemenea blocuri supuse la încercări se distrug prin niște despicături care se produc în direcția forței; de aceea armatura lor, care e așezată perpendicular pe forță și transversal suprafeței de apăsare, le mărește sensibil rezistența. Blocurile supuse la încercări aveau o suprafață de 50×50 cm. la bază, o înălțime de 40 cm. și au fost presate pe suprafața superioară pe o fâșie de 15 cm. lățime. Armatura era compusă din patru rânduri de împletituri și anume trei în jumătatea superioară și unul în apropiere de fața inferioară; iar fiecare rând era compus din nouă feare de 12 mm. diametru. Încercările la compresiune au dat următoarele rezultate :

Amestecul	Vechimea	Prima crăpătură la	Ruperea la	Observații
1:3 Bazalt	33 zile	336 kgr/cm ²	605 kgr/cm ²	Puterea preseii se opreă la 605 kgr/cm ²
„ „	32 „	264 „	530 „	
1:4 Bazalt	32 „	264 „	605 „	
„ „	32 „	228 „	438 „	
1:3 Granit	33 „	228 „	494 „	
„ „	33 „	252 „	605 „	
1:4 Granit	30 „	209 „	456 „	
„ „	30 „	228 „	579 „	

Blocurile de beton armat au fost confecționate în tipare de fontă cu fețe netede, iar armatura a fost distribuită egal pe toată înălțimea lor, căci la încercările făcute s'a observat că crăpăturile au apărut la fața de jos, care era mai puțin armată. Lungimea blocului este de 79 cm., cât e și lungimea unei bucăți de articulație, astfel că fiecare bucată de articulație repauzează pe un bloc de beton.

La articulațiile de la naștere s'a prevăzut că ambele rânduri de blocuri să se reazeme pe cintre, pentru a înlătură astfel orice deplasare între ele. Asemenea deplasări se întâmplă în totdeauna când blocurile din spre culee sunt încorporate în culee înainte de terminarea bolții, și numai blocurile din spre arc se reazemă pe cintre, în care caz acestea din urmă s'ar

scoborî când am descintră bolta. Armatura de fer a bolții e îndoită perpendicular pe ea în fața blocului articulației și se continuă și pe fața posterioară a bolții în direcția rostului.

Betonarea bolții s'a făcut împărțind'o în mai multe părți; mărimea și ordinea de betonare a fiecărei părți se vede în fig. 6. La distribuția acestor diviziuni s'a avut în vedere ca în diviziunile 1—6 fiecare diviziune mare să se sprijine pe o întreagă grindă (Kranzholz, vaux) a cintrului iar'la legătura acestor grinzi cu montanții pe care ele se reazemă să fie așezate diviziunile mici de boltă. Aceste diviziuni au fost lăsate deocamdată libere și au fost betonate mai târziu. Tot asemenea au fost lăsate spații libere și în fața blocurilor dela articulații și care s'au betonat în urmă. In ceiace privește ordinea de betonare a diviziunilor mici cu numerele 7—14 (fig. 6) s'a avut în vedere ca să se obție bolta întreagă cât mai târziu; ultimele diviziuni betonate au fost acelea din apropierea blocurilor articulației. Cu modul acesta se poate obține ușor o boltă fără crăpături; altfel se poate ca unele rosturi să se deschidă din cauza deformației cintrelor.

Betonul pentru boltă a fost compus din o parte ciment Portland, două părți nisip (din Isar) și patru părți pietriș (din Isar).

La deschiderile principale eșafodagiul se compuneă din șapte cindre a căror construcțiune se poate vedeă în figura 6. Construcțiua cintrelor e astfel dispusă încât permite ca greutatele verticale ale porțiunilor de boltă să fie direct transmise la piloți, astfel că numai grinzile-coroane sunt singure supuse la flexiune. Cu modul acesta s'a redus la minimum deformația eșafodagelor, mai ales că s'au luat măsuri ca montanții și contrafișele cintrelor să nu pătrundă în traversa de lemn pe care se sprijină, traversele fiind acționate perpendicular pe direcția fibrelor. Asupra acestui din urmă punct nu se dădea înainte nici o importanță și se mulțumeau numai ca între montanți și traversă să se pună foi de plumb; iar la urmă se constată că montanții împreună cu foile de plumb pătrundeau în traversă, pentru simplul motiv că rezistența la compresiune a lemnului, perpendicular pe fibre, eră întrecută. In proiect se prevăzuse ca între montanți și traversă să se intercaleze bu-

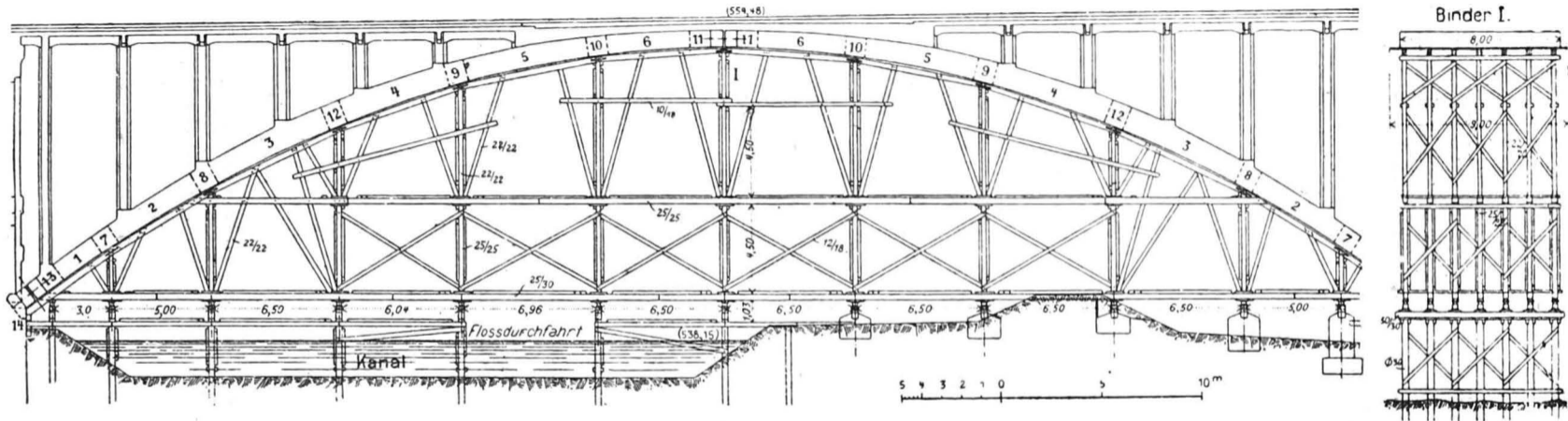


Fig. 6. — Cintrele podului peste Isar. Deschiderea din stânga. — Vedere și secție transversală.

căți de lemn tare; la construcție s'a preferat însă a se pune feare \square care permit o construcție mai simplă și mai stabilă.

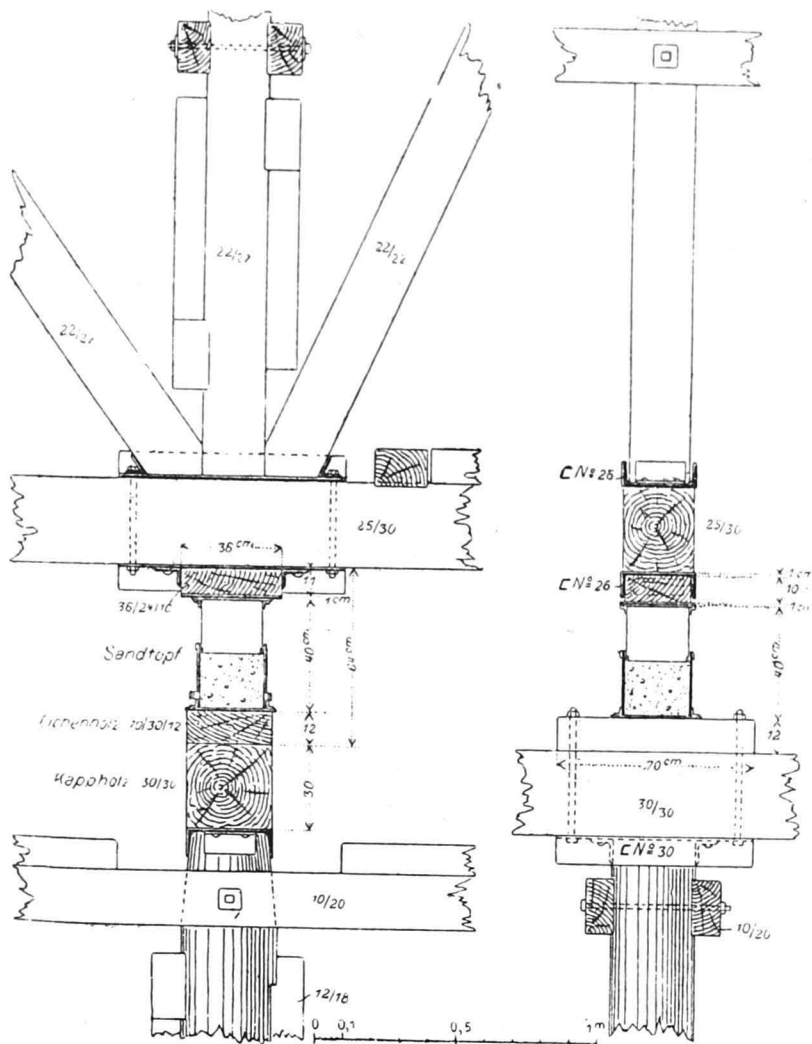


Fig. 7. — Detaliul cintrelor. — Scara 1:30.

În privința pătrunderii lemnului, antrepriza a făcut ea singură experiențe cu presa ce posedă asupra unor tălpi de brad

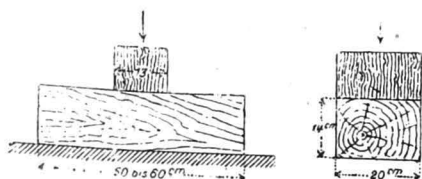


Fig. 8. — Scara 1:20.

și de fag de $14/20$ cm. secțiune, care erau apăsate prin intermediul unui stâlp de lemn tare (Fig. 8). Rezultatele au fost următoarele :

1. PENTRU BRAD		2. PENTRU FAG	
Presiunea 10 kgr/cm ²	Pătrunderea 0 mm.	Presiunea 20 kgr/cm ²	Pătrunderea 0 mm.
13	0	30	0,2
20	0,5	40	0,5
30	2,0	50	0,7
40	3,5	60	1,0
50	ruperea fibrelor. strivire completă	70	1,75
		80	3,0
		90	5,2
		100	8,7

În urma acestor experiențe s'a luat ca travaliu admisibil pentru brad, normal pe fibre, 13 până la 15 kgr/cm² și pe baza acestor date s'au calculat fearele [—]. Detaliurile de construcție se văd în fig. 7. O superioritate a acestei construcțiuni constă încă și în aceea că s'au suprimat cu totul căpurile, care sunt așa de vătămătoare pentru suprafețele pe care se transmit presiunile. Picioarele montanților și a contrafișelor au fost fixate prin corniere nituite sau înșurubate, care le asigură în contra deplasărilor laterale. Natural că aceleași precauțiuni au fost luate în privința transmiterii eforturilor de compresiune și la îmbinarea dintre capetele piloților și talpa (grinda) orizontală de deasupra lor (Kappholz, semelle) precum și dedesuptul și deasupra cutiilor cu nisip (fig. 7). La cutiile cu nisip s'au întrebuițat exclusiv numai tălpi de lemn de stejar. Pentru a avea o cât mai mare suprafață de transmitere a presiunilor, grinzile-coroane, care primesc direct greutatea bolții și a căror extremitate se sprijină pe montanți, sunt susținute în puncte intermediare și prin niște contrafișe.

Cutiile de nisip sunt de tablă de fer cu pistonul (pilugul) din lemn de stejar și au fost încercate înainte de întrebuițare la o presiune de trei ori mai mare decât cea pe care aveau a o suportă. Asemenea cutii cu nisip au fost aplicate pretutindeni, afară numai de primul rând de montanți de lângă naștere, unde s'au întrebuițat pene de stejar. Întrebuițarea verenurilor (Senkschrauben), a fost exclusă din cauza costului lor; de altfel cutiile cu nisip permit o sprijinire mai stabilă a cintrelor și descintrarea se

poate face cu aceeași siguranță ca și în cazul când întrebuințăm verenuri; trebuie numai să avem mai multă practică și să punem mai multă atenție.


Fundațiile tuturor culeelor și pilelor au fost scoborâte până la stratul de flinz, un fel de marnă, care poate suportă o presiune de 5 kgr/cm². Pentru a se face economie la zidăria de beton, s'au amenajat goluri în zidurile întoarse ale culeiei deschiderii secundare din dreapta. Asemenea, pilele deschiderilor secundare precum și părțile superioare ale pilelor principale au fost prevăzute și ele cu goluri, deasupra cărora s'au întocmit niște grinzi în arc în beton armat care servesc ca reazime pentru tablierul podului.

Tablrierul podului are, între parapete, o lărgime de 8,0 m., dintre care 5.0 m. pentru șosea și 1,50 m. pentru fiecare din cele două trotuare. El are, începând din dreptul pilei din mijloc, o pantă de 1%, iar drenarea se continuă mai departe pe deasupra culeelor ambelor deschideri principale.

Platelagiul este susținut prin o construcție de beton armat care constă dintr'o placă (dală) de beton de 8,60 m. lățime și 20 cm. grosime, bine armată, purtată de 5 longeroni (nervuri) ce au o secțiune de 25/40 cm. și care și ei la rândul lor sunt susținuți din 4 în 4 metri de niște coloane armate care se reazimă pe spatele bolții.

Placa și nervurile (longeronii) sunt calculate ca grinzi continue și s'a făcut ipoteza cea mai defavorabilă că atât placa ce se sprijină pe longeroni, precum și nervurile ce sunt susținute de coloane, sunt numai articulate în punctele lor de sprijin.

Pentru calculul tablrierului s'a luat ca greutate mobilă un cilindru compresor. Dispoziția armaturii plăcii și longeronului se vede în figurile 9 și 10. Deasupra coloanelor secțiunea nervurilor se mărește prin niște adaose în formă de arc, pentru ca eforturile de compresiune, la partea de jos, care rezultă din cauza marilor momente negative de pe reazime, să nu întrecă limita admisibilă.

Coloanele au o secțiune de 40/40 cm., afară de cele din față care, spre a se prezentă mai bine în elevație (fațadă), au o secțiune în formă de , astfel că în elevație au o lățime de 70 cm. Armatura celor mai lungi coloane constă din 8 feare rotunde de 24 mm. diametru ; coloanele imediat următoare au 8

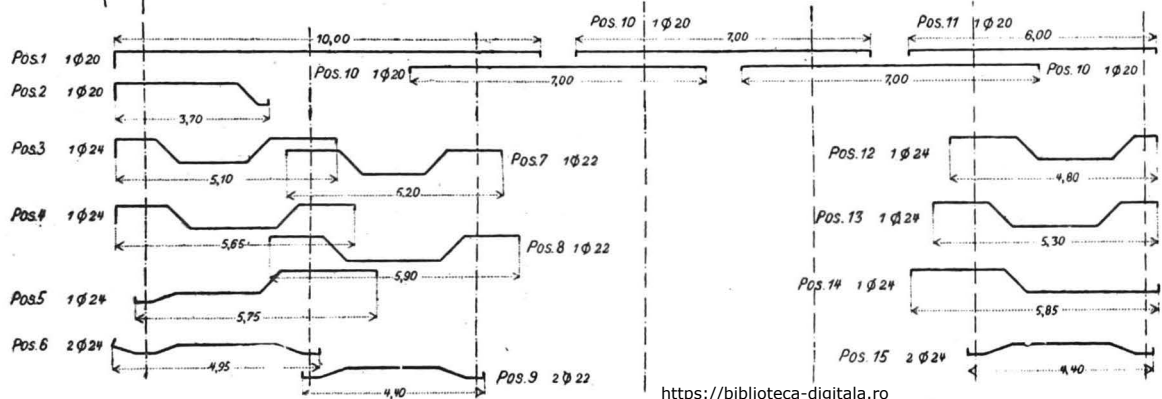
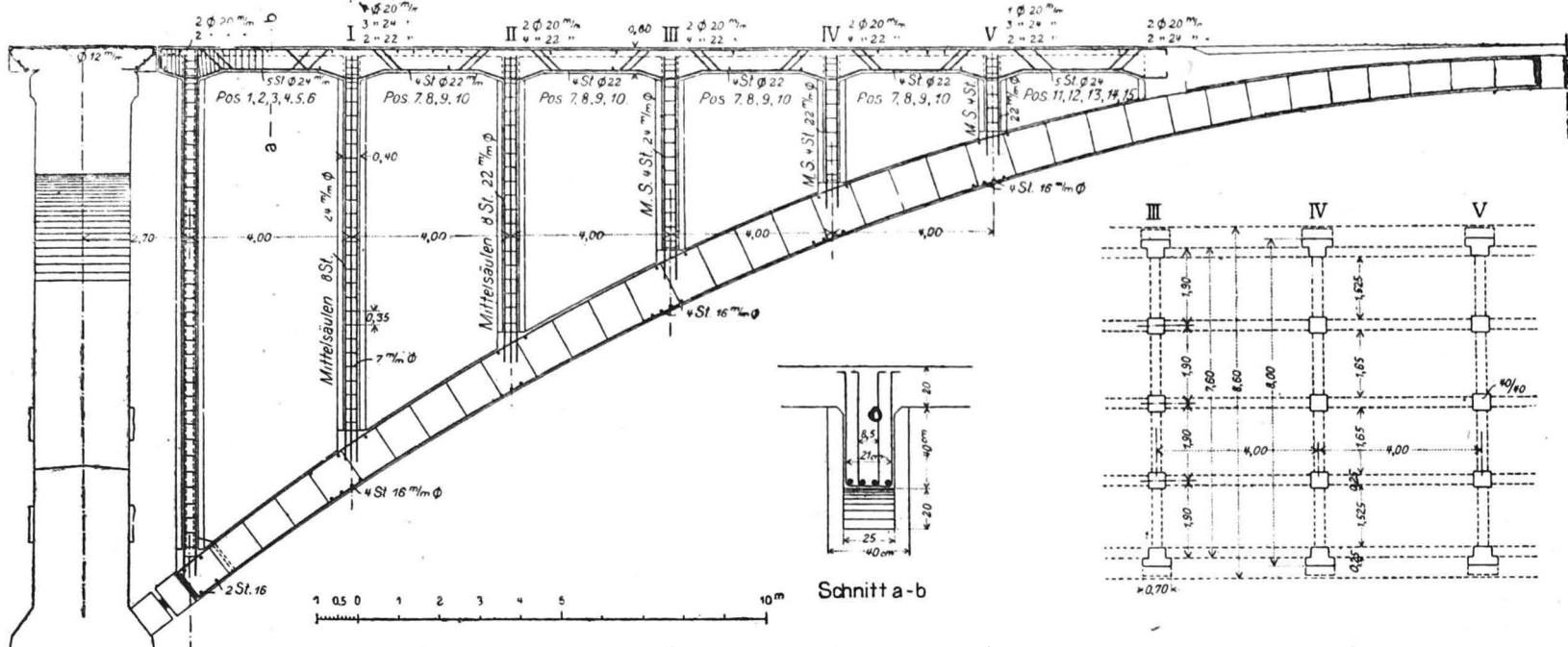


Fig. 9.
 Armatura nervurelor coloanelor
 și a bolții.
 Scara 1:200.

feare de 22 mm. diametru; apoi urmează coloane cu câte 4 feare de 24 mm. și în fine cele mai scurte au 4 feare de câte 22 mm. diametru. Coloanele din fațadă sunt armate: cele mai lungi cu câte 8 feare rotunde de 20 mm. diametru, iar cele mai scurte cu câte 8 feare de 18 mm. diametru. Depărtarea dintre scărișoare e, la toate coloanele, de 35 cm. și constau din feare rotunde de 7 mm. grosime.

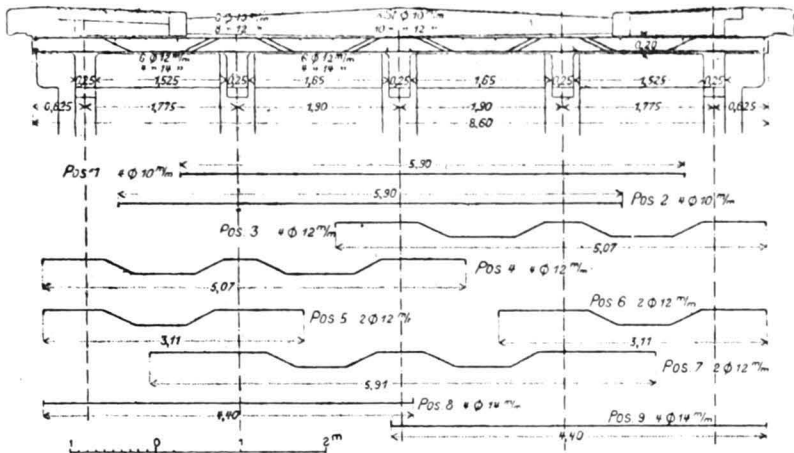


Fig. 10. — Armatura dalei. — Scara 1:100.

Armatura coloanelor se prelungeste cu 40 până la 50 cm. în betonul bolții, iar bolta mai este armată, în sens transversal, sub fiecare șir de coloane, cu patru feare rotunde de 16 milimetri diametru jos și cu două feare rotunde de 16 milimetri diametru sus. Cu modul acesta, greutatea concentrice tras-mise de coloane sunt mai bine repartizate pe toată lățimea bolții. Ultimul rând de coloane, care se sprijină pe nașterea bolții, se prezintă ca un perete de beton găurit, de oarece acest rând de coloane sunt legate în sensul lățimii bolții printr'o construcțiune transversală de beton armat, care asigură tablăriului stabilitatea necesară în sens lateral.

La construcțiunea tablăriului s'au prevăzut, atât la articulațiile de la cheie cât și dela naștere, niște rosturi de dilatație, care au fost acoperite, după cum se uzitează, cu tablă de fer.

Construcțiunea de beton armat a deschiderilor secundare de 8,50 m. constă dintr'o placă (dală) și grinzi principale. Aceste grinzi sunt depărtate, ca și longeronii deschiderilor principale,

cu 1,90 m. din axă în axă, așa că placa are aceleași dimensiuni. Grinzile principale sunt construite și calculate ca grinzi liber răzimate, în cât s'a obținut o dispoziție simplă a armaturii. Armatura constă aici din cinci feare de 36 mm. diametru și unul de 24 mm. diametru, după cum se vede în figura 11.

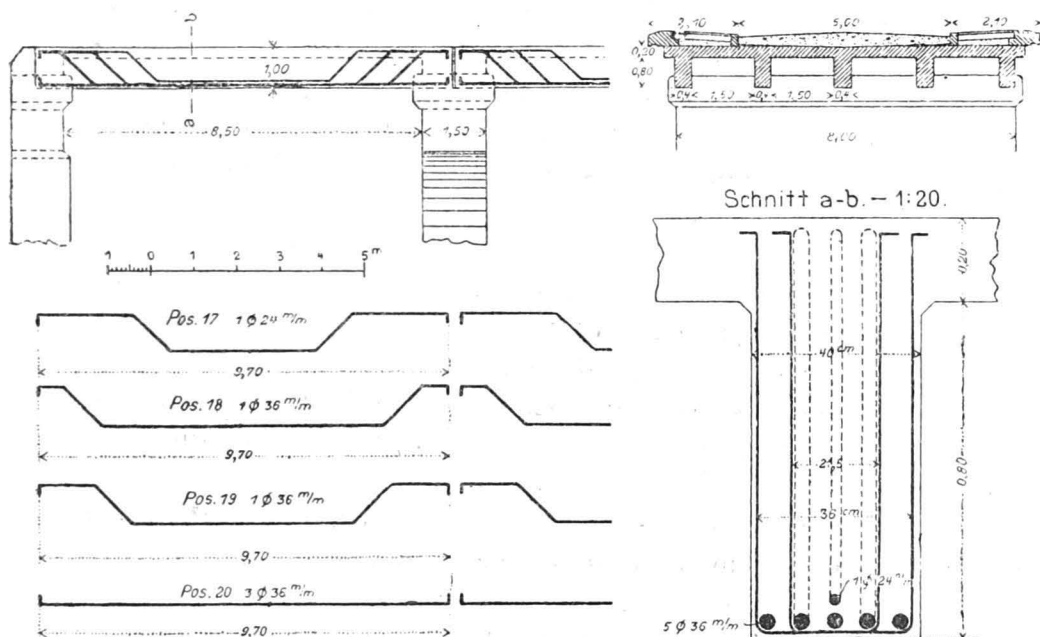


Fig. 11. — Construcția platagiului la deschiderile cu grinzi drepte de pe malul stâng. — Scara 1:200.

Ca arhitectură, podul are forma obținută chiar la construcție cu ajutorul tiparelor; excepție s'a făcut numai pentru pila din mijloc căreia i s'a dat în urmă carecare decorațiune. Toate suprafețele de beton au rămas nelucrate, afară de câteva muchii eșite care proveneau din cauza rosturilor scândurilor dela tipare și care au fost dresate ulterior.

Parapetul este asemenea de beton, cu goluri; a fost construit pe loc și a rămas astfel cum a eșit la construcțiune.

Pătura impermeabilă așezată peste placa de beton armat a tablierului constă din plăci de păslă asfaltate. Spatele bolții mai este apărat printr'o tencuială netedă de ciment.

Construcția podului a început în toamna anului 1903. Lucrările au fost astfel conduse de inginerul-șef *Reverdy* și de

către Directorul *Zöllner* în cât la 1 August 1904 s'au putut descintra bolțile. Betonul bolților avea o vechime de trei luni și toată greutatea proprie, incluziv șoseaua eră așezată; încât presiunea la naștere a trebuit deci să ia direcția ce rezultă din calcul, ceiace a exclus posibilitatea alunecării articulațiilor dela naștere. De altfel, după cum s'a menționat mai sus, articulațiile acestui pod prezintă o mare siguranță contra alunecării, din cauză că suprafețele lor de contact au curburi foarte puțin diferite una de alta, ele fiind trasate, cum am văzut, cu raze aproape egale (25 cm. și 20 cm.). Din acest punct de vedere articulațiile acestui pod se deosebesc de cele întrebuințate la podul Maximilian, de curând căzut, și la care razele erau 3,00 m. și 0,30 m. În afară de această considerație, o descintrare cât mai târzie a bolții este de recomandat și din alt punct de vedere și anume se îndepărtează pericolul ca, în timpul construcției, curba de presiune a bolții să se îndepărteze prea mult de poziția sa mijlocie și suntem astfel dispensați de a calcula necontenit poziția acestei curbe, când construcția podului avansează.

Descintrarea s'a făcut în modul următor: mai întâi la ambele traveie principale, după un semnal dat, s'au deschis găurile cutiilor cu nisip dela palea de supt cheie și s'a lăsat să curgă $\frac{1}{4}$ l. nisip. După aceia s'a închis la loc găurile și s'a bătut în acelaș timp cu bucăți de lemne de câteva ori peste aceste cutii și numai astfel s'a obținut o scoborire de câțivă milimetri. Aceiaș operație s'a repetat la cele 4 rânduri de cutii mai apropiate de cheie și tot așa mai departe la cele trei rânduri din urmă. Pe urmă operația s'a reînceput din nou dela șirul de cutii de supt cheie și s'a continuat până la ultimul rând. În total au fost necesari 28 oameni, afară de personalul de supraveghere. Fiecare om avea cu el o cheie pentru șuruburi, un topor, un vas de măsurat și un lemn pentru bătut. Scoborârea bolții se putea observă pe niște late ce erau fixate în amonte și avalul râului, în dreptul cheiei bolții. De oarece cintrele erau într'o tensiune elastică, nu s'a observat la început decât scoboriri foarte mici. Indată ce scoborirea bolții n'a mai progresat, s'au desfăcut și penele de lemn dela naștere.

Cintrelor li s'a dat, la construcție, o supraînălțare de 10 cm. la cheie. Până la încheierea bolții s'a observat o lăsare de

17 mm.; dela încheierea bolții și până la descintrare nu s'a mai observat nici o lăsare apreciabilă. Greutatea construcției de pe spatele bolții este aproximativ numai jumătate din greutatea bolții. Săgeata de 17 mm. este foarte mică și provine numai în mică parte din comprimarea elastică a montanților și contrafișelor; ea se explică mai mult prin închiderea, din cauza încărcării, a rosturilor îmbinărilor dintre fearele \perp , montanți și traverse.

La descintrare săgeata observată are la deschiderea din dreapta 6,5 mm., iar la cea din stânga 10 mm. Înainte și după descintrare s'a măsurat mărimea rostului articulațiilor între blocurile de beton. Nu s'au găsit însă decât o micșorare a rostului de cel mult $\frac{1}{10}$ mm.

La cheie bolta este cu 7 cm. mai sus decât în proiect, ceea ce se observă puțin din ochiu și la tablier. Cu instrumentele avute la îndemână, nu s'a putut constata cu precizie vre-o deplasare a culeelor după descintrare.

În cele ce urmează dăm și calculul săgeții dela cheie, din care se vede că săgeata, la care ne așteptăm, nu depinde numai de presiunile dezvoltate în secțiunile bolții, adică de forțele normale N , ci și de forma bolții, adică de momentele corespunzătoare.

Să ne închipuim că o forță $P=1$ lucrează în dreptul rostului dela cheie (fig. 12); atunci teorema deplasărilor virtuale, aplicată pentru greutatea proprie și încărcarea $P=1$ din cazul de față, ne dă ecuația :

$$\delta = \int \frac{M \cdot M'}{E \cdot I} ds + \int \frac{N \cdot N'}{E \cdot F} ds \quad (1)$$

în care însemnăm cu :

- δ săgeata la cheie din greutatea proprie ;
- M momentul încovoetor din greutatea proprie ;
- N puterea normală » » »
- M' momentul încovoetor din încărcarea $P=1$;
- N' puterea normală ; » » »
- E modulul de elasticitate ;
- F aria secțiunii ;
- I momentul de inerție al secțiunii.

Integralele de mai sus le putem calcula foarte ușor după

regula lui Simpson; cum însă, pentru secțiunile I până la VIII, avem deja determinate cantitățile M, N, F și I dela calculul static al bolții, ne vom servi de aceste valori spre a calcula integralele, înlocuindu-le prin niște sume corespunzătoare acestor secțiuni.

Din ecuația (1) deducem :

$$E. \delta = \int \frac{M.M'}{I} ds + \int \frac{N.N'}{F} ds.$$

$$\text{Calculul integralei } \int \frac{M.M'}{I} ds = \Sigma \frac{M.M'}{I} \Delta s$$

Secțiunea	M mt.	M' mt.	M.M' m ² t ²	I m ⁴	$\frac{M.M'}{I}$	Media	Δs m.	$\frac{M.M'}{I} \Delta s$
S	0	0	0	—	0			
I	+ 1,5	-1,46 × 0,73 = -1,06	- 2	0,34	- 6	— 3	2,25	- 7
II	+ 7,1	-1,46 × 1,84 = -2,68	- 19	0,58	- 33	— 20	4,00	- 80
III	+18,2	-1,46 × 2,70 = -3,94	- 71	0,84	- 85	— 59	4,05	- 239
IV	+23,8	-1,46 × 3,12 = -4,55	-109	0,98	-111	— 98	4,10	- 402
V	+30,3	-1,46 × 3,30 = -4,81	-146	1,09	-134	— 123	4,20	- 517
VI	+34,7	-1,46 × 3,08 = -4,50	-156	1,09	-143	— 138	4,35	- 600
VII	+32,5	-1,46 × 2,50 = -3,65	-118	0,99	-119	— 131	4,50	- 590
VIII	+27,0	-1,46 × 1,60 = -2,34	- 63	0,75	- 84	— 102	4,65	- 474
K	0	0	0	—	0	— 42	5,80	- 244
Suma pentru o jumătate de boltă :								-3153

Pentru întreaga boltă avem :

$$\int \frac{MM'}{I} ds = -2 \times 3153 = -6306.$$

Cifra 1,46 t. din coloana a treia este reacțiunea dela naștere pentru încărcarea P=1 aplicată la cheie.

Săgeata care rezultă la cheie din cauza momentelor este prin urmare, dacă luăm E=200000 kgr/cm² sau 2000000 t/m² :

$$\delta_M = -\frac{6306}{2000000} = -0,00315 \text{ m.}$$

adică o *urcare* a cheiei de 3,15 mm. produsă de momentele pozitive corespunzătoare greutateii proprii, care provoacă o turtire a jumătății de arc și prin urmare o lungire a corzii sale. Aceste momente pozitive M, produse de greutatea proprie, există în toate secțiunile arcului, de oarece, după cum am spus mai sus, mijloacele rosturilor sunt pretutindenea supt curba de presiune corespunzătoare greutateii proprii. Cum însă cea mai mare deviație a curbei de presiune e de 21 mm., rezultă că cea mai mică îndepărtare dela forma proiectată poate să influențeze asupra săgeții la care ne așteptăm.

$$\text{Calculul integralei } \int \frac{N \cdot N'}{F} ds = \Sigma \frac{N \cdot N'}{F} \Delta s.$$

Secțiunea	N t.	N' t.	N · N'	F	$\frac{N \cdot N'}{F}$	Media	Δs	$\frac{N \cdot N'}{F} \Delta s$
S	1606	1,38	2216	6,00	369			
I	1606	1,38	2216	6,40	331	350	2,25	786
II	1610	1,42	2286	7,52	304	318	4,00	1272
III	1630	1,44	2347	8,64	272	288	4,05	1166
IV	1660	1,45	2407	9,20	262	267	4,10	1095
V	1710	1,46	2437	9,60	260	261	4,20	1096
VI	1770	1,46	2584	9,60	269	265	4,35	1153
VII	1840	1,44	2650	9,12	291	280	4,50	1260
VIII	1950	1,42	2769	8,32	333	312	4,65	1451
K	2065	1,38	2850	7,20	396	365	5,80	2117
Suma pentru o jumătate de boltă :								11396

Săgeata la cheie provenită din puterea normală este dar:

$$\delta_N = \frac{2 \times 11396}{2000000} = 0,0114 \text{ m.}$$

sau

$$\delta_N = 11,4 \text{ mm.}$$

Săgeata totală este deci :

$$\delta = \delta_M + \delta_N = -3,15 + 11,40 = 8,25 \text{ mm.}$$

Considerând că δ_M are o nesiguranță în determinare, acest rezultat este foarte mulțumitor față de cel obținut prin măsurătoare.

Rosturile bolții dela articulații au fost umplute cu mortar de ciment, pentru a feri articulațiile de oțel de rugină. Mobilitatea articulațiilor este însă asigurată printr'un strat de pâslă asfaltată care e betonată la mijlocul rostului.

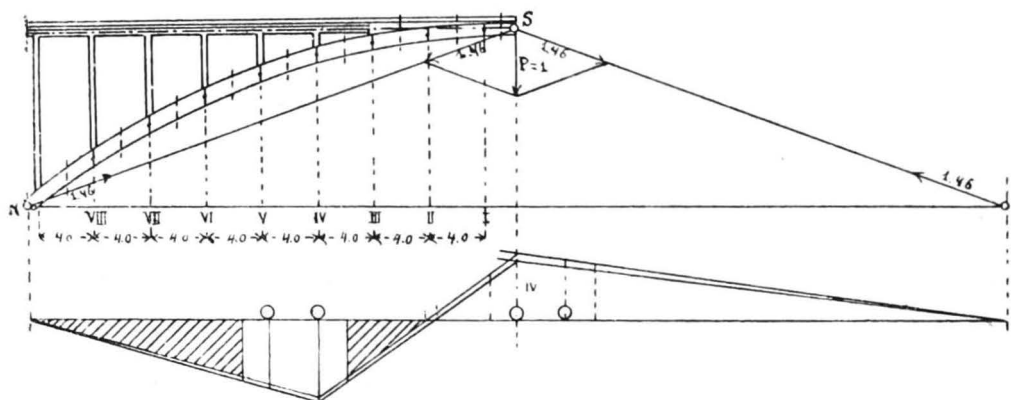


Fig. 12. — Calcule statice. Liniile de influență a momentelor sâmburelui central pentru secțiunea IV.

Inercarea podului s'a făcut la 15 Noemvrie 1904 cu două vehicule de câte 10 tone greutate fiecare, dar nu s'a putut măsura și observă vre-o schimbare permanentă apreciable, iar la 20 Noemvrie podul a fost dat în circulație.

Costul întregului pod s'a urcat la 325.000 lei (260.000 mărci), așa că s'a putut constată că podurile boltite cu construcțiuni raționale de beton armat, cum e cel descris, pot să concureze, chiar și pentru deschideri mari, cu cele de fer.

(După *Die Isarbrücke bei Grünwald*, von Professor Mörsch in Zürich).

V. Cristescu
Inginer șef.