

# DIVERSE



## RAPORTUL

### D-lor Ritter și Tetmajer asupra catastrofei de la Mönchenstein

La 14 Iunie a. c. pe linia Jura-Simplon (Elveția), 500 metri mai înainte de stația Mönchenstein, depărtată de 5 kilometri de Bâle (Basel) podul peste râul Birs s'au rupt în timpul trecerii unui tren de persoane, cauzând astfel o catastrofă de o însemnătate rară în analele drumurilor de fer și care a costat viața la mai bine de 100 de persoane.

Autoritățile respective, pentru a ști cui cade răspunderea aștei nenorociri, au însărcinat pe d-nii Ritter și Tetmajer, profesori la școala politehnică din Zurich, cu studiarea, pe cât lucru era posibil, a cauzelor care au produs ruperea podului; raportul acestor experți fiind terminat, extragem din el cele ce urmează:

#### 1. — Situația podului peste Birs

În fig. 1 se indică planul de situația în scara de 1:2000 al liniei la trecerea râului Birs. Linia de la Delsberg la

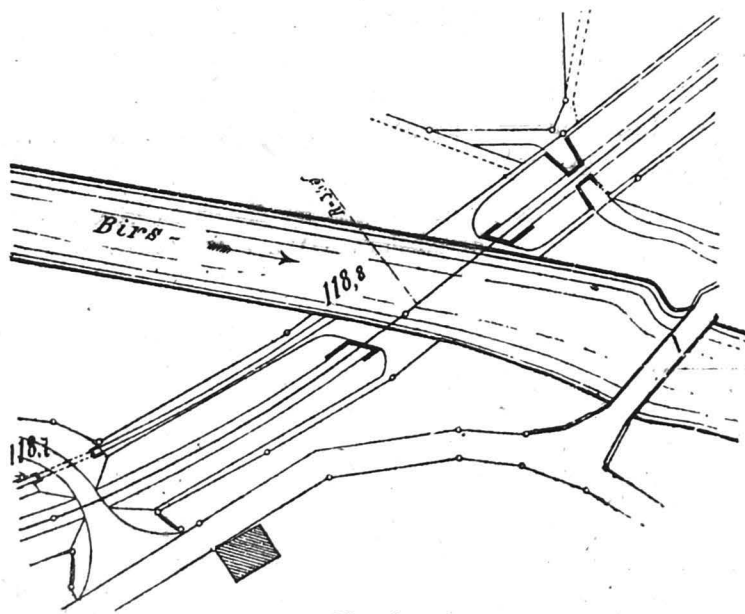


Fig. 1.

Bâle părăsește stațiunea Mönchenstein (km. 118,3) în linie dreaptă care la km. 118,57 trece în o curbă de 350 m. raza. Tangenta teoretică a acestei curbe este la km. 118,802 depărtată de 13. m. 56 de culea dreaptă (Mönchenstein) și la 27, m. 44 de culea stângă (Bâle). Trecerea din curba cu raza de 350 m., în aliniament este făcută cu ajutorul unui arc de parabolă de 26 m. lungime și care se găsește jumătate pe curbă, jumătate pe linia dreaptă, astfel că în realitate, începutul arcului este împins cu 13 m. către culea stângă. Pe pod, a cărui deschidere este de 41 m., tangenta se găsește la 26, m. 56 de la culea dreaptă și la 14, m. 44 de la cea stângă.

Podul este în biais axa lui încrucișază direcția corectată a albiei râului sub un unghi de  $50^{\circ} 4' 54''$  și taie axa căii în aliniament din partea din spre Bâle și alături de culea stângă, sub un unghi de  $0^{\circ} 15' 10''$ . Culea dreaptă se găsește astfel la 18 m. în amonte de la cea stângă. Punctul de intersecția curbei de trecere cu axa podului se află depărtat cu 5, m. 20 de culea dreaptă.

Stația Mönchenstein este orizontală pe o lungime de 359, m. 8, de la km. 118,503 linia este în rampa de  $3\text{‰}$  pe o lungime de 2216, m. 3, adică până la km. 120,719, astfel că podul se află pe rampa de  $3\text{‰}$ .

În Decembrie 1885 reazemul din spre Mönchenstein fu schimbat în reazăm cu rulouri, ceea ce a necesitat o ridicare de 13,5 cm. și de atunci suprastructura podului era aproape orizontală.

#### 2. Descripțiunea Podului înaintea catastrofei

Podul peste Birs a fost construit de firma *Eiffel et Comp.* în Levallois-Perret care basat pe un art. (art. 6) al caetului de sarcină respectiv, schimbă proiectul primitiv care constă din o grindă parabolică de o lungime totală de 43, m. 58 cu o înălțime de 7, m. 0 la mijloc, în o grindă dreaptă după cum se indică în fig. 2—6 prin elevația, plan și detaliile de îmbinări.

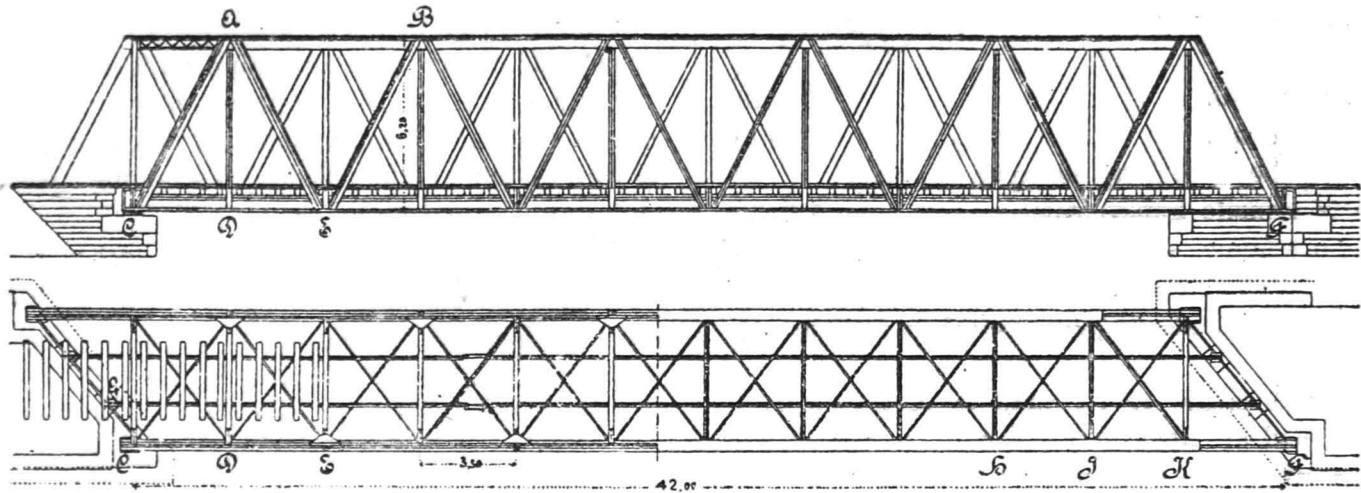


Fig. 2.

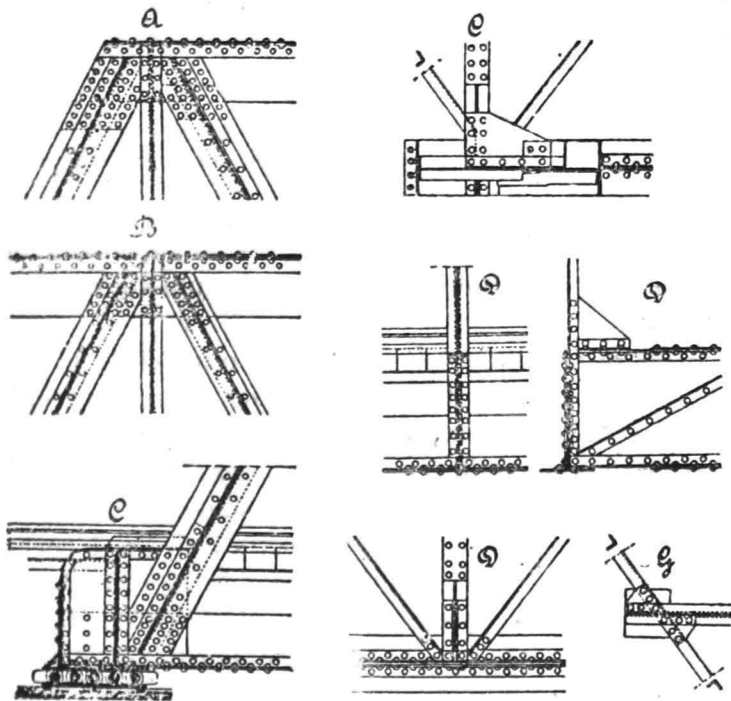


Fig. 3.

Fig. 4.

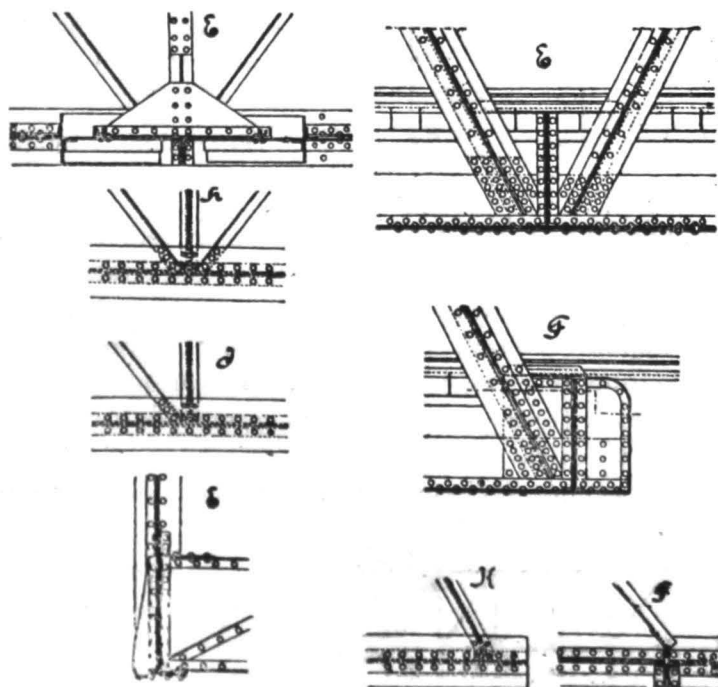


Fig. 5.

Fig. 6.

a) *Basele de calcul și prescripțiuni pentru calitățile metalului.* Pentru calculul suprastructurii podului de la Mönchenstein s'au luat ca baze următoarele greutateți :

*Pentru grinzile principale :*

Supraîncărcare uniform repartisată de 4, t. 50 pe m. l.  
 Greutatea proprie a ferăriei . . . . . 1, t. 20 » »  
 Tablier propriu zis . . . . . 0, t. 40 » »  
 Total . . . . . 6, t. 10 pe m. l.

*Pentru grinzi transversale și longeroane :*

O Locomotivă-tender cu o greutate totală de 37, t. 5 și distribuite după cum se indică în figura 7.

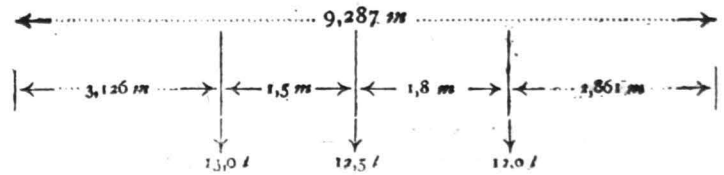


Fig. 7.

Ca travaliu la extensiune, compresiune și încovădere s'au luat 6 k. pe milimetru pătrat și după cum era obiceiul în Franța, găurile de nit nu au fost deduse, considerându-se în calcul secțiunea brută. Pentru nituri se prescria în art. 5 al caetului de sarcină că travaliul la forfecare să nu întrecă 5 kg. pe milimetru pătrat.

Prescripțiunile privitoare la calitatea materialului erau laconice ; prin art. 4 al caetului de sarcină se cerea un fer sudabil de o bună calitate cu o rezistență de cel puțin 32,0 kg. și fără nici o alterație la 15,0 kg.

b) *Descripția proiectului Eiffel și aprecieri asupra lui.* Dimensiunile principale ale podului erau :

Lungime totală între reazeme . . . . . 41,<sup>m</sup>00  
 Distanța între tălpi . . . . . 4,<sup>m</sup>28  
 Înălțimea . . . . . 4,<sup>m</sup>66  
 Greutatea proprie a suprastructurii pe m. l. . 1,t.20  
 Grinzile principale sunt grinzi drepte *sistem Warren*, cu totul static determinate și dimensiunile principale erau :

Lungime totală (la început) . . . . . 42<sup>m</sup>,810  
 Lungimea după așezarea reazemului cu rulouri 42<sup>m</sup>,960  
 Înălțimea între lamelele tălpilor . . . . . 6<sup>m</sup>,200

Distanța între centrele de greutate ale secțiunilor  
ălpilor :

Distanța minimală . . . . . 6<sup>m</sup>,036

Distanța maximală . . . . . 6<sup>m</sup>,110

Lungimea panourilor (lungime egală cu dubla  
istanță între grinzile transversale) . . . . . 7<sup>m</sup>,000

Grinda din amonte, și care în raport cu sensul mer-  
ului trenului în momentul ruperei era la dreapta, se  
relungea cu o jumătate de panou, adică cu 3,50 m., de  
cât grinda stângă.

Grinzile transversale se rezemau la partea lor infe-  
rioară pe un nod al talpei de jos, iar la partea supe-  
rioară era atârnată de talpa de sus prin ajutorul unor  
verticale.

Forma secțiunilor tălpilor (fig. 8 indică secțiunile tal-  
pilor de sus în panourile 1 și 2, fig. 9 și 10 indică rostu-  
il e în talpa de sus și în cea de jos, fig. 11 indică sec-  
unele diagonalelor) este rațională. Mai puțin satisfăcătoare



Fig. 8.

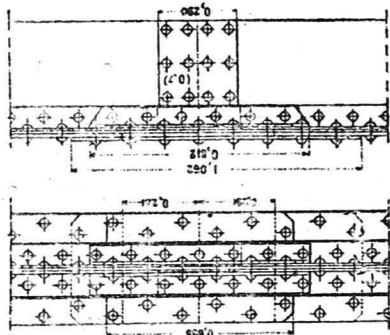


Fig. 9.

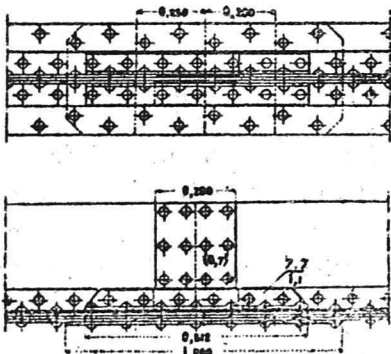


Fig. 10.



Fig. 11.

este grosimea inimelor tălpilor; din punctul de vedere al  
modului de îmbinare a diagonalilor și din cauza puținei  
rezistenți transversale, grosimea de 10 mm. se poate con-  
sidera ca insuficientă. Ar fi trebuit ca inima talpei supe-  
rioare între două noduri, să fie întărită cu o cornieră.  
De asemenea la noduri distanța de 2,4 cm. între găurile  
de nit, lasă de gândit. Defectuos era de asemenea modul  
de îmbinări la noduri. Diagonalele erau fixate de tălpi

excentrice. Axa lor nu se tăia în axa de greutate a tăl-  
pilor, dar deasupra în maximum cu 25,6 centimetri, în  
minimum cu 21,5. Din astă cauză se naște eforturi noi  
și care face ca travaliul metalului să fie cu mult mai mare  
și care cesteune la dimensionarea secțiunilor pieselor po-  
dului nu s'a ținut de loc cont.

O îmbunătățire adusă proiectului a fost aceea propusă  
de inginerul șef al liniei, d-l Bridel, și care constă în le-

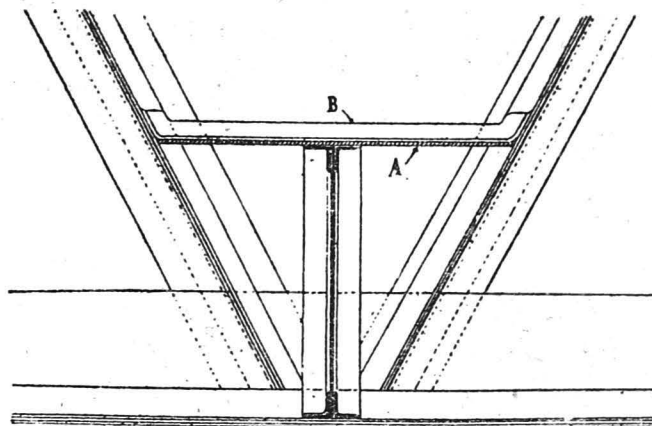


Fig. 12.

garea grinzilor transversale la partea lor superioară de  
diagonalele ce se îmbină la nod, după cum se indică în  
fig. 12.

Grinzile transversale constau din o inimă de 850×7  
mm. și din 4 corniere de 80×80×10 (fig. 13) indica grinda  
înainte și după întărire, în vederea, rigidității este nevoie  
de o mai mare grosime a inimii. Longeronel (fig. 14)

constau din o inimă de 600×7 și din 4 corniere  
de 70×70×7 sus și de 60×60×8 jos. Diametrul niturilor de  
21 mm. distanța între nituri 135 mm. Longe-  
ronele erau dispuse simetric în raport cu axa  
podului și la o depăr-  
tare de 1,7 m.

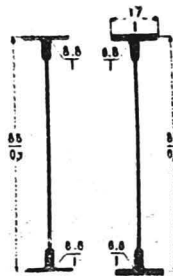


Fig. 13.

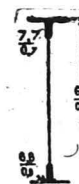


Fig. 14.

Dimensiunile longe-  
ronel nu sunt satis-

făcătoare. La o lungime de 3,5 m. și în vederea posi-  
țiunii șinei și a influenței șocurilor la care sunt expuse  
longeronel, se impunea o grosime mai mare a inimii  
și la mijloc o consolidare în sens vertical și transversal.

Legătura longeronel de grinzile transversale, pe toată  
înălțimea se făcea prin una singură cornieră de 70×70×7  
și cu 6 nituri de 21 mm.

Contraventurile erau dispuse două (fig. 15). Ca mon-

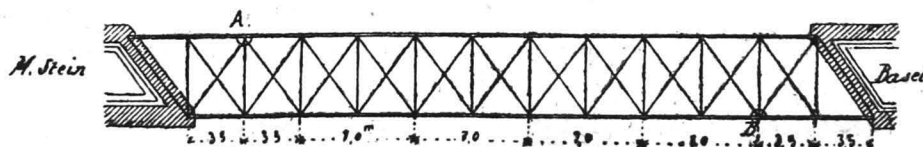


Fig. 15.

tanți în contraventuirea de jos lucrau grinzile transversale. Montanții contraventurii de sus constau din grinzi de 350 mm. înălțime și cu trei (fig. 16) Diagonalele astor contraventurii constau peste tot din corniere de  $80 \times 80 \times 10$ . În panoul din urmă și care avea formă triunghiulară, diagonala înclinată a contraventurii de jos consta din o cornieră cu brațe inegale și care leagă grinzile între ele; în contraventuirea de sus legătura de la capăt consta de o grindă identică cu cea care formează montanții acestei contraventurii. În punctele de încrucișare ale diagonalelor contraventurilor, ele erau tăiate și legate prin guseuri, și se legau de lamelele tălpilor prin câte trei nituri de 24 mm. diametru.

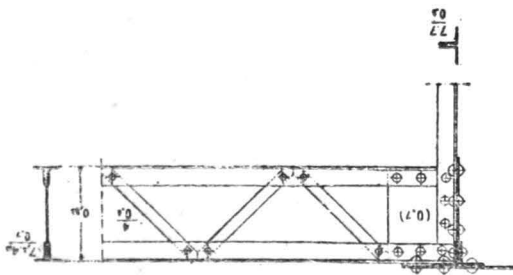


Fig. 16.

Montanții contraventurii de sus, inclusiv legăturile de la capăt, constau din 4 corniere de  $75 \times 45 \times 7$  și legate cu un treiu ce constă din platbande de  $40 \times 6$  mm., legătura cu talpa superioară era făcută cu ajutorul unei plăci de 7 mm. grosime și care se lega de inima talpei sau prin intermediul cornierilor montanților verticali sau prin corniere speciale. Guseurile grinzilor de la capăt erau numai de 5 mm. grosime și din cauza lipsei de spațiu legătura se făcea cu buloane.

Construcția contraventurilor era de asemenea defectuoasă. Legătura superioară de la capăt nu era destul de forte, cea-ce nu se căutase a se da, era lipsă la capăt a unui cadru destul de solid pentru transmisiunea presiunii vântului de sus la reazăm, și care la podul în ces-tiune se făcea prin diagonalele, de la cap ale grinzilor principale și care erau insuficiente.

**Reazemele** primitive erau simple plăci de alunecare și numai, după cum s'au zis mai sus, în anul 1885 au fost schimbate prin reazăm cu rulouri.

c) **Executarea construcțiunii.** Podului de la Mönchenstein era imprimat caracterul din epoca noastră a podurilor de fer franceze. Nodurile erau șablonate, la rosturi în tălpi piesele nu erau trase la rându, în talpa superioară tot la rosturi între piese era lăsat spațiu. Găurile de nit erau făcute cu poinsonul. Din găurile de nit unele erau conice. Găurile de nit nu se corespundeau în deajuns,—cea mai mare nepotrivire observată a fost de  $1\frac{1}{2}$  mm. Niturile lucrau în mod satisfăcător cu toate că la multe s'au observat că capul era excentric. În general ca executare se poate zice că podul peste Birs era de o calitate mijlocie.

d) **Reparațiuni și întăriri făcute în anii 1881 și 1890.** În Septembrie 1882 din cauza unei mari viituri podul a suferit serioase deteriorări. Culea din stânga din cauza de afuimente crăpă în mijloc și o parte se returnă așa că podul rămând numai pe trei puncte de reazăm, grinda din dreapta se încovoae și capul podului fără reazim se scobori în jos, după inginerul controlului de 75 cm., după acel al întreținerii de 40 cm. În ziua următoare podul fu ridicat în poziția sa primitivă și sprijinit pe restul culei rămasă în picioare.

Podul fu examinat de un inginer și de un montor și care au constatat următoarele :

1. Nici o deformare nu s'a observat.

2. La nodul A al grindei drepte și nodul B al celei stângi (fig....) a păreților verticali, fie-care diagonală avea câte o ruptură *a* și care se întindea până la marginea nitului *e* (fig. 17).

3. La aceleași noduri guseurile orizontale erau îndoite.

4. Niturile de la noduri erau în mai multe locuri rupte. Imediat după ridicarea podului în poziția lui normală toate defectele observate au fost reparate. Rupturile *a*, *c*, din diagonale au fost acoperite cu civre joanturi, guseurile din A și B îndreptate, și toate niturile deteriorate au fost înlocuite.

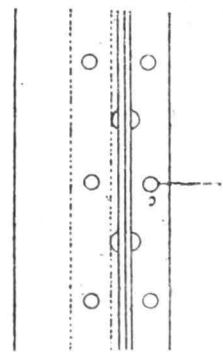
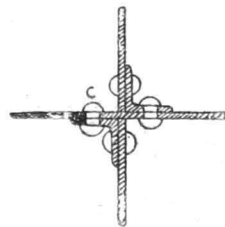


Fig. 7

Reparația culei odată terminată și mai înainte de punerea din nou a podului în exploatare, s'au făcut încercări cu două locomotive din cele mai grele ce linia Jura-Simplon avea (Locomotiva - Tender de 14, m. 3 lungime și de 56, t. 5 greutate) și a cărei rezultat a

fost, la mijloc o săgeată de 20 mm. la o vitesă de 15 kilometri pe oră și o depărtare a tălpilor de sus de 7 până 7,5 mm.

În anul 1884 podul peste Birs ca multe altele după aceeași linie, au fost revizuite, despre a cărui rezultat însă nu se găsește nimic la dosar.

În anul 1889 în urma introducerii de locomotive cu o greutate de 14, t. 7 pe osie și în urma invitării administrațiunii superioare, compania Jura-Simplon a recalculat toate podurile dupe acea linie, și au găsit ca 16 din ele, între care și podul peste Birs, aveau nevoie de întăriri locale, dacă s'ar lua ca base la calcul, supraîncărcările date de nouile locomotive și tot odată sporindu-se travaliul metalului la 6,5 până la 7 kg. pe mm. pătrat, găurile de nit fiind deduse.

Iată întăririle ce s'au adus podului :

Tălpile din cauza micii diferențe (100 kg. pe m. l.) a supraîncărcării și din cauza travaliului de 6 kg. pe mm.,



ce au fost admis la redactarea proiectului primitiv, nu a avut nevoie de nici o întărire.

Grinzilor transversale li s'au mai adăos câte două lamele de  $170 \times 10$  și pe lungime de 3,5 m., legătura grinzilor transversale cu ambele diagonale prin corniere de  $80 \times 80 \times 10$ ; introducerea unei a doua corniere verticale în atașarea longeronelor de grinzile transversale.

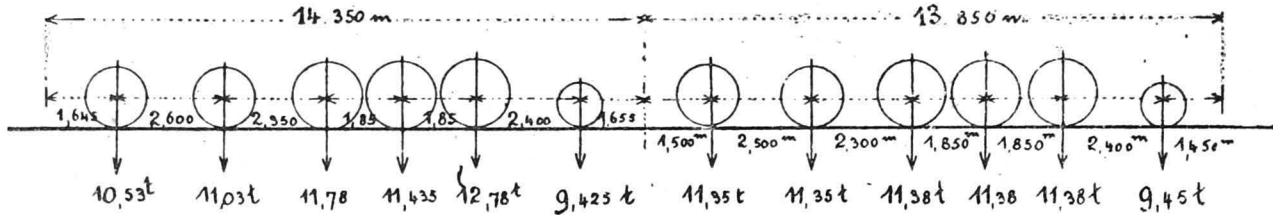


Fig. 18.

Ambele locomotive erau prevăzute cu aparatul Haus-halter pentru înregistrarea vitezei și a căror rezultate examinate, în urma catastrofei, corespund foarte bine; în adevăr la ambele se vede că imediat după plecarea trenului din stațiunea Bâle, viteza a crescut repede până la 48 km. după aceea o scădere la 44 km. în urmă o ridicare până la 50 km. de aci începe a scădea și ultima indicare este 41 km. Cum aparatele nu înregistrează de cât din 12 în 12 secunde este probabil ca viteza ce a avut trenul la trecerea podului era mai mică de cât 41 km. În raportul direcțiunii liniei în cestiu este indicată viteza de 35 km. și care țifără se baza pe mărturiile personalului trenului. Din depunerile personalului trenului se vede că fochistul primei locomotive aprecia viteza trenului la 43 km. acel al locomotivei a 2-a între 35—40 km. așa că din spusile lor, precum și din datele înregistratorilor, ar urma că viteza trenului la trecerea podului era în 36—40 km. pe ora (10—11 m. pe secunda.) Timpul necesar mașinei din cap să treacă de la o culee la alta era aproape 4 secunde.

Din depunerile marturilor oculari, ruperea podului a avut loc de odată și însoțită cu un vuet colosal în momentul când prima locomotivă a ajuns la culeea stângă, uni din ei pretind că mai înainte de rupere se observa o cedare a construcției; așa fochistul primei mașini (meccanicul a fost omorât) declară că în timpul când era pe pod a simțit că locomotiva se întoarce puțin spre dreapta și că se deplasa în jos ca și când ar merge în direcția către piciorul culeei din spre Mönchenstein, și că momentul când au atins culeea, mașina mergea, după cum se exprimă el, «ca în o spirală» în acel moment se auzi un vuet ca acel produs la ruperea unei pânze numai cu mult mai intens, contraventuirea superioara se separă de grinda principală din stânga care rămăsese un minut în poziția ei și în urmă căzu.

Cam același lucru a depus atât personalul locomotivei a doua și care au scăpat cu viața, precum și mai mulți marturi oculari, ce tocmai atunci se aflau pe podul de șosea și care este alătura cu acel al căi ferate, din depunerea astor resulta că podul a început a se rupe

### 3 Descripția podului după catastrofă.

Trenul sub care s'au rupt podul se compunea din două locomotive de mare viteză a cărei distanță între axe și greutatea sunt indicate în fig. 18, din un vagon de bagagi, din unul de marfă de mare viteză, din un vagon de poștă și din 10 vagoane de persoane în total 36 osii.

În mijloc și dinapoia locomotivei din cap, și că o deraiare nu a avut loc, mașinele, până la căderea lor, au ramas continuu pe șine, după declarația personalului lor.

S'au examinat culeele, în urma catastrofei și nu s'au constatat de cât mici deteriorări, din nivelarea ambelor s'au văzut de asemenea că nu poate fi vorba de o deplasare în sens vertical a corpului zidăriei culeei din stânga.

Din pozițiunile în care s'au găsit căzute mașinele rezultă că grinda principală din dreapta a cedat mai întâi. În adevăr, pe când locomotiva a 2-a a căzut aproape vertical pe fundul râului, locomotiva prima s'a întors în jurul axei sale longitudinale de aproape  $135^\circ$  și astă întoarcere a fost mai mult consecința înclinării culeei pe axa căei, căci perechea de roți dinainte și a doua roată din stânga a primei locomotive se afla deja pe culeea când restul roților perdue reazemele lor, așa ca locomotiva să se întoarcă în jurul axei sale longitudinale și în sensul în care s'a întors a trebuit ca grinda dreaptă să cedeze mai întâi, altminterlea trebuia să urmeze aceeași mișcare și locomotiva 2-a.

În căderea lor locomotivele au suferit, relativ, puține stricăciuni.

S'a căutat să se verifice declarația personalului trenului în cea ce privește dacă a fost sau nu deraiare, pentru asta scoțându-se traversele din riu, s'a căutat să reconstitue tablierul propriu și al podului. În timpul catastrofei traversele erau bulonate de longerone și distanțele din 70 în 70 cm., așa că între două grinzi transversale succesive se afla 5 traverse; șinele repausau prin intermediar de plăci și erau prinse cu tirefoane, în unele locuri crampoane.

În totul s'au scos din riu 51 traverse, precum și câteva resturi, s'au dispus după ordinea ce avea pe pod și s'au constatat că o urmă continuă de deraiare nu există, unele din ele purtau urma de roți, cum ele însă erau când în dreapta când în stânga sensului mișcării, nu au putut să se producă de cât în momentul căderii. Ast-fel că declarația personalului locomotivelor, cum că mai înainte de cădere, nu a avut loc deraiare, se confirmă.

**Ferăria podului după rupere.** Este greu a se descrie starea în care era ferăria după catastrofă. Numărul rupturilor era foarte mare. Este greu de asemenea a se spune dacă aste rupturi s'au produs în momentul rupei sau din cauza căderii materialului rulant a trenului.

Construcția indică, după cădere o pronunțată întoarcere spre dreapta (în amonte), de unde ar rezulta că grinda principală din dreapta a cedat în primul loc, totuși

și prima locomotivă prin căderea ei, a influențat astă întoarcere a construcției. Rupturile cele multe se aflau în apropiere de culee, în partea centrală se găseau diagonalele legate de tălpi, ceea ce se remarcă în astă parte era încovăeri de diagonale și mici crăpături. In fig. 19 sunt date grinda principală dreaptă și stângă reconstituită după rupere, săgeata indică sensul merului trenului în timpul căderii.

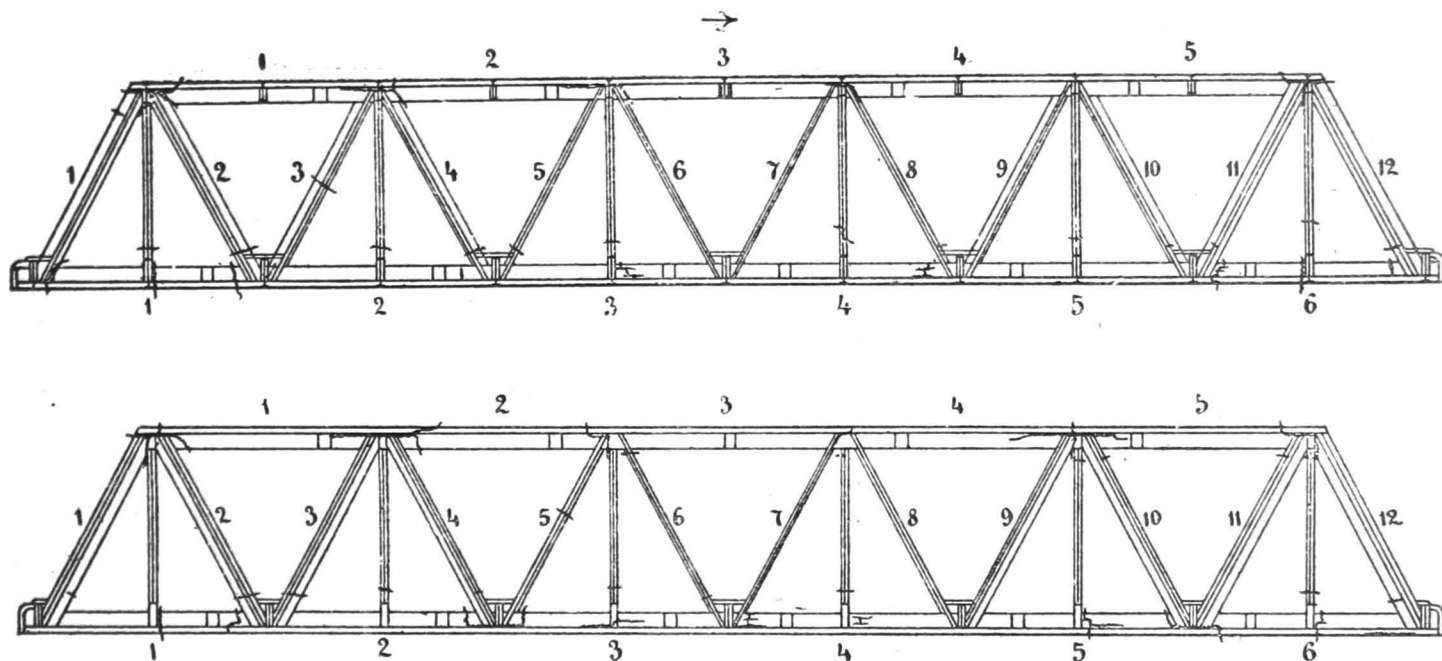


Fig. 19

Talpa de sus a grindei principale din stânga s'a găsit dreaptă pe o lungime de aproape 20 m., și aceea a grindei din dreapta pe o lungime de 12 m. In cele mai multe locuri inima tălpei de sus era detașată de cornierele tălpei, probabil din cauză că inima nu era destul de rigidă, și că diagonala nu era trecută peste cornierele tălpiilor. Ambele tălpi de jos au suferit mai multe rupturi lângă culee; talpa grindei din stânga forma o singură bucată pe o lungime de 29 m., aceea a grindei din dreapta pe 25 m., totuși și pe aceste porțiuni prezintă mai multe încovăieri și rupturi parțiale. Cea mai mare deteriorare se găsea la nodul 5 al tălpei drepte și la întâlnirea diagonalei 4 cu 5; acolo inima era complet detașată pe o lungime de 1<sup>m</sup>,2.

Primele două grinzi transversale erau puțin deteriorate, cele opt din urmă însă foarte mult, stricăciunile erau mai mult în inimile lor. De remarcă că la capătul din dreapta a grindei transversale 5, guseul era încovoiat și după cum s'a zis mai sus, inima tălpei detașată de corniere.

Contraventura superioară a fost deteriorată prin căderea vagoanelor în prima parte și în cea-ăltă prin a locomotivelor, la mijloc pe lungimea a patru panouri nu era deteriorată.

După cum să prezintă starea construcției după catastrofă să părea că cauza ar fi o piesă din mijlocul podului, presupunere care a fost confirmată după cercetările statice.

In ceea ce privea întreținerea podului, nu s'au remarcat nici o cauză care ar fi putut produce ruperea. Nicăiri nu s'au găsit bucăți ruginite și care ar fi lăsat de gândit.

**Resultatele încercărilor materialului.** După indicațiunile direcțiunei Jura-Simplon, ferul ce a servit la construcția podului de la Mönchenstein este de provenința belgiană. Cornierele sunt furnisate de firma Valère-Mabille în Morlavelz, ferul plat de Marcinelle et Couillet în Couillet, iar tolele de E. Dumont în Marchieux (?)

S'au luat mai multe bucăți din grinzile principale precum și din grinzile transversale și longeroane cu care s'au făcut în total 213 încercări și anume:

Incercări la rupere. . . . .	103
Incovăeri la rece. . . . .	99
Nituri . . . . .	11

Din țifrele care le-au dat încercările și pe care nu e nevoie a le înșira în acest extras, rezultă că în comparațiune cu prescripțiunile obișnuite în Franța, Germania, Austro-Ungaria, Elveția, ferul din care au fost construit podul de la Mönchenstein nu corespundea calităților cerute ferului pentru întrebuințarea lui în construcție de poduri.

**Resultatele cercetărilor statice** s'au determinat forțele care acționa podul și eforturile în bare pentru încărcarea sub care s'au rupt.

Greutatea proprie a podului a fost găsită de 67,2 tone în total sau 0,8 tone pe metru liniar și pentru o grindă.

Pentru un nod superior revine 1,68 tone pentru unul inferior 1,496.

Ca supra încărcare :

O locomotivă de 13,85 m. lungime și cu greutate de . . . . . 66,29

O locomotivă de 14,35 m. lungime și cu greutate de . . . . . 66,98

Un vagon de bagaje 9,82 m. lungime și cu greutate de . . . . . 12,00

Un vagon de persoane 15,375 m. lungime și cu greutate de . . . . . 17,90

Celelalte vagoane ale trenului nu sunt de considerat, căci ele au venit pe pod după rupere.

Momentul încovoitor maximum corespunzător astor încărcări este 957 m.t. Incărcarea uniform repartisată astui moment este 4,34 t. pe metru liniar. Greutatea uniform repartisată cu care a fost podul calculat la început este de 4,50 t. pe m. l., cu alte cuvinte superioară greutatei ce a avut a ținea în timpul ruperei.

În tabela de mai jos sunt indicate eforturile, secțiunile și travaliul ce barele podului le-au suportat în timpul ruperei. Pentru diagonale, extensiunea este indicată cu semnul +, compresiunea cu semnul — diagonalele 1—4 sunt lăsate la o parte, de oare-ce eforturile ce suportau, sunt cu mult inferioare acelor ale barelor lor simetrice.

BARĂ	EFORT. (TONE)			SECȚIUNE c m. <sup>2</sup>		TRAVALIUL kg. pe c. m. <sup>2</sup>		
	din greut. propr.	din supra încărc.	Total	Brută	Netă	pe secția brută	pe secția netă	
Talpa super. (compres.)	1	15,9	43,0	58,9	106	90	560	650
"	2	25,5	69,2	94,7	162	137	580	690
"	3	28,6	77,2	105,8	182	152	580	700
"	4	25,5	69,5	95,0	162	137	590	690
"	5	15,9	44,1	60,0	106	90	570	670
Talpa de jos (tensiune)	1	9,0	23,2	32,2	106	90	300	360
"	2	21,7	58,3	80,0	138	116	580	690
"	3	28,1	75,0	103,1	178	151	580	680
"	4	28,1	75,2	103,3	178	151	580	680
"	5	21,7	59,1	80,8	138	116	590	700
"	6	9,0	24,5	33,5	106	90	320	370
Diagonale	5	- 5,3	+7,8	+ 2,5	52,1	46,5	50	50
"	6	+1,1	-11,7	-10,5	32,8	28,4	320	370
"	7	+1,1	+16,5	+17,6	32,8	28,4	540	620
"	8	-5,3	-22,6	-27,9	52,1	46,5	540	600
"	9	+7,6	+29,0	+36,6	58,8	53,8	620	680
"	10	-11,7	-35,7	-47,4	87,6	78,5	540	600
"	11	+14,0	+42,7	+56,7	93,6	84,5	610	670
"	12	-18,2	-49,8	-68,0	114,8	104,7	590	650
Montanți	1-6	+ 2,0	+11,5	+13,5	21,1	17,9	640	750

Cum se vede din acest tablou travaliul pe secțiune brută este continuă inferior de 600 kg. pe c. m. <sup>2</sup>, sau întrece cu prea puțin. Considerându-se secțiunea netă travaliul se apropie de 700 kg. pe c. m. <sup>2</sup> în afară de montanți. Un travaliul de 700 kg. pe c. m. <sup>2</sup> corespunde unui coeficient de siguranță egal cu 5, coeficient care pentru bare întinse este generalminte recunoscut ca satisfăcător.

*Barele comprimate.* Din rezultatele date în tabloul de mai sus, nu se poate trage nici o concluziune pentru cauza ruperei podului. Cu totul alt rezultat se obține dacă se examinează *rezistența la flambagiu a barelor comprimate.*

În tabloul de mai jos sunt indicate barele comprimate, travaliul ce rezultă din compresiune simplă, momentele lor de inerție (I), raza de girație (i), lungimea la flambagiu (l) raportul ( $\frac{l}{i}$ ) și travaliul la flambagiu și care a fost calculat mai întâi cu formula lui Schwarz-Rankine :

$$t = \frac{700}{1 + 0,00006 \left(\frac{l}{i}\right)^2}$$

pe urmă cu formula lui Tetmajer :

$$t = 750 - 3 \frac{l}{i}$$

și pentru cazul când  $\frac{l}{i} > 110$  cu formula lui Euler care transformată este

$$t = 5000000 \left(\frac{i}{l}\right)^2$$

în aste formule  $t$  înseamnă limita travaliului în kilograme pe centimetru pătrat, până la care bara poate să lucreze fără ca să flambeze,  $i$  și  $l$  denumirile date mai sus.

În calcul nu s'a ținut cont de slăbirile aduse secțiunilor prin găurile de nit. Pentru tălpi este dat raza de girație verticală, din cauză că un flambagiu în sens horizontal era împedecat de contraventuirea de sus. Pentru diagonale este dată raza de girație minimă.

BARA	Efort tone	Travaliu kg.	Moment de inerție I cm. <sup>4</sup>	Raza de girație i cm.	Lungimea l cm.	$\frac{l}{i}$	Travaliu la flambagiu	
							După Rankine kg.	După Tetmajer- Euler kg.
Talpa de sus	3	105,8	580	18450	10,1	700	69	540
" " "	4	95,0	590	18100	10,6	700	66	550
" " "	5	66,0	620	14600	11,7	700	65	560
Diagonale	6	10,5	320	305	3,05	712	234	160
"	8	27,9	540	755	3,81	712	187	230
"	10	47,4	610	3000	5,62	712	127	350
"	12	68,0	590	5805	6,90	712	103	430

Din acest tablou rezultă că tălpile prezentau destulă rezistență la flambagiu, diagonalele însă, și mai cu seamă a 6-a și a 8-a, nu.

Diagonala a 6-a se compune din două corniere de 80×80×11 și dispuse în colțuri și din distanța de 1<sup>m</sup>,20 nituite cu ajutorul de fururi. Este greu de zis dacă în cea ce privește flambagiul, această legătură le făcea complet solidare. Considerate chiar că ambele corniere lucrau de o potrivă și că momentul de inerție de considerat ar fi acel al amândorora, cum secțiunea barei era de 32,8 cm.<sup>2</sup> și scăzându-se găurile de nit, rămâne 28,4 cm.<sup>2</sup>, momentul de inerție minimal este 305 cm.<sup>4</sup>, respectiv 269 cm.<sup>4</sup>. După formula lui Euler și după care în acest caz (raportul dintre lungime la raza de girație) trebuie calculat; o astfel de bară pentru lungimea



$l=712 \text{ cm.}^2$  și pentru un coeficient de elasticitate  $E=2.000.000 \text{ kg. pe cm.}$  putea să suporte o forță care este după formula

$$P = \frac{\pi^2 E y}{l^2}$$

$P=11^t,9-10^t,5$ , după cum se consideră momentul de inerție a secțiunii brute sau nete. La o creștere cât de mică a forței, bara flambează. După tabloul de mai sus, forța care acționa bara în momentul ruperei a fost de  $10^t,5$ .

Acelaș lucru și pentru diagonala 8. Ea constă din două corniere de  $100 \times 100 \times 14$  cu secțiune brută de  $52,1 \text{ cm.}^2$  și netă de  $40,5 \text{ cm.}^2$  momentul de inerție minimal este  $755$  respectiv  $674 \text{ cm.}^4$ . Forța maximă ce putea suporta este  $29^t,4$  respectiv  $26^t,2$ . Forța care a suportat în momentul ruperei, a fost  $27^t,9$ .

Ast-fel că aste două diagonale lucrau cu un *coeficient de siguranță egal cu unu*.

Formula lui Euler, întrebuințată, este pentru cazul când ambele capete ale barei ar fi libere. În realitate diagonalele sunt nituite de tălpi, așa că sunt mai mult sau mai puțin încastrate. La o încastrare completă forța  $P$  ar fi de patru ori mai mare de cât aceea găsită. Totuși cum grosimea inimei tălpilor este mică, și cum prin încovoarea grinzilor transversale talpa inferioară se învârteste în jurul axei sale, diagonalele nu pot fi considerate ca încastrate la cap. Către aceasta să se mai adauge încă și eforturile secundare și care reduce cu mult forța ce poate să o suporte.

Dacă se consideră sensul efortului din bara 6 se vede că în timp de aproape o secundă trece de la compresiune de 10, t. 5 la o extensiune de 14, t. 5. Efectul acestei schimbări instantanee în sensul efortului, nu se poate stabili teoretic cu siguranță, totuși se poate zice că pericolul pentru rupere este mai mare când schimbarea este bruscă, căci în ast cas se naște șocuri și care face să sporească cu mult travaliul.

*Eforturi secundare.* S'au zis mai sus că diagonalele erau îmbinate excentric, dispoziție care mărește cu mult eforturile secundare.

Aceste eforturi au fost calculate pentru momentul când prima păreche de roți a locomotivei din cap se găsește în mijlocul podului. Travaliul crește în mod simțitor și mai cu seamă pentru barele de la cap. Așa pe când travaliul din efortul primar în prima diagonală este  $520 \text{ kg. pe cm.}^2$ , acel din eforturile secundare se ridică, la capătul de sus a barei, la  $1300 \text{ kg.}$ ; suma acestui travaliu întrece deja limita de elasticitate a fierului. Diagonala a doua dă ca travaliu  $460+1000=1460 \text{ kg. pe cm.}$  Deasemenea și în tălpi suma ambelor travaliuri întrece de multe ori  $1000 \text{ kg.}$  și nu de multe ori prin introducerea efortului secundar, efortul total este de semn contrar cu a celui a efortului primar.

La încărcarea totală a podului eforturile cresc (atât cele primare cât și cele secundare) cu  $15-20\%$ , astfel că să poate zice cu siguranță că în diagonala 1-a

și a 2-a și mai cu seamă în tălpi, de forțe de multe ori limita de elasticitate a materialului au fost întrecută, și prin urmare deformație permanentă a trebuit să fie.

În legătură cu acest travaliu mare se află rupturile în număr considerabil ce au fost observate, după cădere, la capetele grinzilor.

La revisiunile periodice ce se făceau podului de agenții întreținerii nu se observase nici odată deformațiuni permanente. Este însă greu ca aste deformațiuni să se poată vedea cu ochii liberi, mai cu seamă când cel ce observează nu știe unde să și îndrepteze privirea.

Pe lângă aste eforturi secundare se mai adaugă încă altele, de mică importanță, și provenite din încovoarea grinzilor transversale, din o încovoare a cadrului transversal, și care eforturi mai sporește travaliul în diagonale cu  $50-100 \text{ kg. pe cm.}$

Poziția podului (biais) produce de asemenea eforturi secundare, din cauză că acționarea nu se face simetric pe amândouă grinzile. Cu cât însă eforturile secundare se sporesc din acest fapt, este greu de zis. Totuși este clar că din o inegală scoborire în jos a două noduri ce stau față în față, are să se producă o încovoare a podului în sens transversal.

În cea-ce privește grinzile transversale și longeronele, s'au găsit în urma calculilor statice că metalul lucra sub o limită permisă și prin urmare cauza căderii podului nu ar fi nici unele nici altele.

Relativ la contraventurile podului, cum în momentul catastrofei, vântul nu'l acționa, nu e necesar un calcul a influenței vântului, în treacăt numai se remarcă că contraventuirea de jos nu era de ajuns de forte, și cea-ce s'a zis mai sus că diagonalele finale ale contraventurii superioare și mai cu seamă legăturile înclinate erau slabe pentru a putea efectua transmisiunea presiunii vântului din contraventuirea de sus la reazeme.

În cea-ce privește eforturile dinamice se poate zice că la o vitesă de  $11 \text{ m. pe secundă}$  a trenului și la capătul podului pe curbă de  $350$  raza, ele sunt neînsemnate. Piesele cele mai acționate sunt longeronele și care nu avea nici o legătură pe toată lungimea lor de  $3 \text{ m. } 50$ .

*Deteriorări suferite de pod la viitura din 1881.* Pentru complectarea acestui studiu se impune o cercetare a deteriorărilor suferite de pod cu ocaziunea viiturei din 1881, și slăbirele ce diferitele piese au suferit, din cauza dărîmării în partea culeei stângi rămîind grinda principală din dreapta fără reazăm la unul din capetele sale.

Când unei grinde ce normal se reazemă pe patru puncte, i se ia unul din reazeme, atunci reacțiunea care face echilibru forțelor ce acționează podul, dispare nu numai în punctul unde reazăm lipsește dar și în acel diametralmente opus lui, așa că grinda se rea-



zămă numai pe două puncte. Este ușor de văzut că în locul reacțiunilor primitive acționează la fie-care cap al podului, cupluri ale căror planuri sunt perpendiculare pe axa longitudinală a podului, al căror rezultat este de a mări la dublu una din reacțiuni și de a ridica pe cea l'altă. Ca consecință, podul suferă încovăeturi în grinzele transversale, în legăturile transversale, de sus și mai cu seamă în diagonale care sunt încovăete în

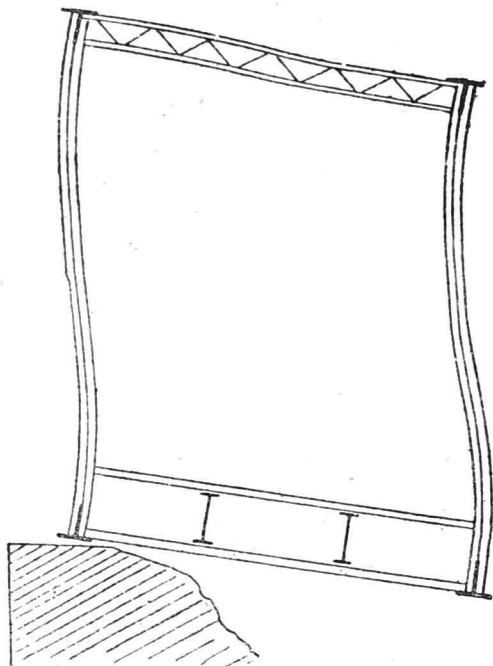


Fig. 20,

formă de S (fig. 20). Dacă se analizează prin calcul aceste consecințe, să vede că metalul suferă eforturi însemnate, mai cu seamă în piesele din apropierea culeelor. Piesele care au a suferi mai mult sunt diagonala a 2-a și a 3-a și în care travaliu se ridică până la 5 t. pe cm.<sup>2</sup>, grinzele transversale 0, t. 4 și legăturile transversale de sus 2 t. Cu aceste date ale calculului stă în legătură rezultatele observațiunilor ulterioare, mai cu seamă mulțimea crăpăturilor la partea de jos a unor diagonale. Deplasarea verticală a capului podului fără reazăm, calculată în ipotesă că deformațiunile sunt proporționale travaliului, este egală cu 125 cm.; cum însă limita de elasticitate și chiar aceea de rupere este întrecută în unele părți, nu e de mirat că deplasarea să fi fost de 40 sau de 75 cm.<sup>2</sup> după cum observase cei însărcinați atunci cu reparația podului.

După cum se reportează în urma ridicării podului în poziția lui primitivă și în urma înlocuirii sau întăririi pieselor crăpate, nu s'au remarcat deformațiuni în nici o piesă a podului. Este însă sigur că deformațiuni permanente în multe locuri au rămas; cum însă ele erau mici, nu au fost observate. De asemenea este posibil să fie rămas chiar și crăpături ne remarcate de cel însărcinat cu controlul din o simplă inspecțiune fiind greu a găsi toate slăbirele ce podul au suferit. Din o încercare a podului, cum s'a și făcut, nu se poate de asemenea trage concluziuni sigure. In tot cazul se poate

susține cu siguranță că prin faptul căderii culeei în anul 1881 suprastructura podului a fost slăbită.

### Concluziuni

Din cele expuse mai sus urmează ca podul de la Mönchenstein avea părți slabe provenite din două cauze. Diagonalele comprimate mai cu seamă a 6 și a 8 nu erau destul de tari spre a rezista la flambagiu, și din cauza atașării excentrice a diagonalelor, se produceau mai cu seamă în barele de lângă culee, eforturi secundare considerabile. Care din aste două cauze au produs ruperea podului și care din grinzele principale au cedat în primul loc, o spun observațiunile martorilor oculari, și cercetările făcute asupra podului în urma catastrofei și care în armonie conduc la concluziunea că diagonalele comprimate din grinda principală din dreapta au fost cauza principală.

Se poate închipui mersul ruperei podului astfel: Când trenul a ajuns la mijlocul podului diagonala a 6 a grindei drepte s'a încovăiat, din cauza puținei sale rezistențe la flambagiu și sub influența șguduiturilor produse de mersul repede al locomotivelor. Dacă se presupune că aceea diagonală a încetat cu totul de a lucra, a trebuit atunci ca în nodul 3 al tălpei de sus să se producă o forță care lucrând în jos, acționa talpa la încovăere, și a cărei rezultat a fost că în fibra cea mai îndepărtată de jos să se producă o extensiune suficientă ca să causeze o ruptură în acea parte și care ruptură s'au întins imediat pe toată secțiunea. În același moment a avut loc o deplasare în jos a grindei principale din dreapta însoțită de clătinări a întregului pod, și de mari travaliuri în mai multe bare. Prin astă slăbire parțială și prin travaliul mare în diagonalele deja slăbite de lângă culee, aceste au cedat și prin ruperea lor podul întreg a căzut. Căderea nu a avut loc în momentul încovăeri diagonalei a 6, dar de sigur 1—2 secunde mai târziu, ruperea nu s'au putut produce momentan dar după un timp și care de sigur a fost scurt. Se poate de asemenea ca aceea diagonală să nu fi încetat cu totul de a lucra dar parțial și care cauzând o slăbire în grinda dreaptă, cea din stânga fiind supra-încărcată mai mult de cât ar fi putut duce, ambele grinzi au căzut aproape în același timp. Cu acest mod de a vedea, corespunde declarația personalului locomotivelor, care mai nainte de ruperea definitivă au observat o deplasare progresivă în jos a păretelui drept. De asemenea stă în acord și deteriorările intensive ce le-au suferit capul drept al grindei transversale 5 și diferitele alte rupturi din tălpi și diagonale.

Este greu a răspunde la întrebarea: pentru ce podul s'a rupt atunci și nu mai înainte, cu toate că adesea ori au trecut pe densusul trenuri duse de două locomotive. Poate că trenul sub care s'au rupt să fi avut o viteză mai mare de cât cele-lalte trenuri identice și care l'au trecut; cu creșterea vitezei să știe că intensitatea șguduiturilor sporește și prin urmare și pericolul de flambare a diagonalelor. Bare de dimensiunile

acelor ce formau diagonalele podului de la Mönchenstein sunt așa de elastice în cât sub acțiunea unei compresiuni, până la oare care limită, se pot încovoia fără ca să înceteze de a lucra, când sarcina ce le acționa dispare, revin atunci în poziția lor primitivă. Dacă însă sarcina întrece o limită oare-care, bara flambează, perzânduși în mare parte rezistența ei. Diagonala a 6-a a podului de la Mönchenstein a fost acționată deja de mult până aproape de acea limită, ea se găsea în un fel de echilibru labil, și cel mai neînsemnat adaus de supra-încărcare, concurând cu orecare împrejurări, pentru a o face să flambeze.

Să mai poate adăoga încă că, după cum experiența o probează, ferul poate suporta de nenumărate ori o aceeași sarcină, cât timp ea se găsește sub limita de elasticitate, dar că numărul este mărginit îndată ce sarcina întrece limita de elasticitate, căci finește prin a produce ruptura.

Pentru un tehnic nu este nimic extra-ordinar în căderea podului de la Mönchenstein; suprastructura lui se găsea de mult la limita rezistenței, și nu trebuia de cât puțin lucru pentru a-i produce căderea. Pe de altă parte din cauzele căderii podului de la Mönchenstein nu să poate deduce considerațiuni care ar face ca po-

durile de fer să se presinte în general ca un ce de nesiguranță. Podurile de fer ca și mai nainte merita toată încrederea, numai cu condițiune ca să fie just calculate, pe base sănătoase, materialul să fie de bună calitate, și în timpul exploatării să nu fie lăsat fără supraveghere serioasă.

In rezumat, cauzele care au produs căderea podului de la Mönchenstein se pot ast-fel formula:

*Podul de la început chiar, era, în unele părți, de o construcție slabă și defectuoasă.*

*Ferul întrebuințat nu conrespundea în mare parte în cea-ce privește rezistența și ductilitatea calităților cerute.*

*Podul a suferit slăbiri simțitoare cu ocasiunea apelor mari din anul 1881.*

*Intărirea ce se adusese în anul 1890 erau numai asupra unor părți ale podului, altele și slăbite în mod simțitor au rămas tot ca mai înainte.*

*Nu a fost deraiare a trenului mai înaintea căderii podului.*

*Causa principală a căderii sunt diagonalele din mijloc; căderea a fost cu mult influențată prin modul de atașare excentric al diagonalelor și de calitate inferioară a ferului.*

Traducțiune de George Casimir.