

przez most. Uderzenia kół na zetknięciach szyn i działanie przeciwcieżarów kół parowozu mogą także wywołać ten sam skutek. Jeżeli impulsy następują w innych czasach, niż wahnienia, to zmniejszają wielkość wahnień i nie są niebezpieczne. Maszerujące wojsko jednak łatwo dostosowuje bezwiednie krok do czasu wahnienia danego mostu, dlatego też maszerowanie umiartowym krokiem przez most powinno być wogóle zakazanem.

Każdy most ma pewny czas wahnień. W przybliżeniu oblicza Steiner ilość wahnień w sekundzie i otrzymuje:

$$n = \frac{19,3}{\sqrt{l}}, \quad 14)$$

dla mostu obciążonego, zaś dla nieobciążonego:

$$n' = n \sqrt{1 + \frac{p}{q}}, \quad 15)$$

a więc dla	$l=10$	40	60	80	100 m
	$n=6,1$	3,1	2,5	2,2	1,9 „
	$n'=15,3$	5,4	3,9	3,1	2,6 „

Ponieważ przy każdym obrocie koła następuje wskutek przeciwwagi nowy impuls, więc można obliczyć, jaka chyżość dla danego mostu jest najniebezpieczniejsza. Zazwyczaj jednak powiększenie naprężeń wskutek wahnień nie jest wielkiem, zwłaszcza, gdy most dobrze stężymy. Wpływu tego przy obliczeniu dlatego zazwyczaj nie uwzględniamy.

II. Naprężenie dopuszczalne.

§. 12. Naprężenie dopuszczalne dla mostów żelaznych i stalowych.

Mówiliśmy poprzednio, że wpływ wstrząśnięć i drgań możemy uwzględnić, zmniejszając naprężenie dopuszczalne. Oprócz tych wpływów uwzględniać musimy też ilość zmian naprężenia.

W §§. 23, 24 i 25 „Podręcznika Statyki Budowli“ (trzecie wydanie) podaliśmy wzory do obliczenia wymiarów na podstawie doświadczeń Wöhlera. Przy obliczaniu mostów wzorów tych tem bardziej używaćby należało, że tu zmiany naprężeń są z powodu ciężaru ruchomego większe, niż dla innych zeskładów. Tu musimy też uwzględnić wstrząśnienia, a że dokładne obliczenie ich wpływu i wielkości nie jest możliwem,

więc uwzględniamy je, przyjmując wedle wielkości wstrząśnień mniejsze naprężenie dopuszczalne; inny współczynnik wstrząśnień i inne naprężenie dopuszczalne przyjmujemy więc dla mostów kolejowych, inny dla drogowych a inny dla kładek.

Podajemy tutaj wzory Winklera¹⁾, których się jednak w praktyce nie używa. Tutaj oznacza F przekrój, P_0 siłę wewnętrzną z powodu ciężaru własnego, P_1 z powodu ciężaru ruchomego a P_2 takąż siłę o odwrotnym znaku.

Dla mostów kolejowych żelaznych, jeżeli przeważa ciągnięcie:

$$\left. \begin{aligned} F &= \frac{P_0}{1400} + \frac{P_1}{590} + \frac{P_2}{1300} \text{ cm}^2 \\ \text{jeżeli przeważa ciśnienie,} \\ F &= \frac{P_0}{1200} + \frac{P_1}{550} + \frac{P_2}{1280} \text{ "} \end{aligned} \right\} \dots 16)$$

Dla mostów drogowych żelaznych:
dla przeważającego ciągnięcia:

$$F = \frac{P_0}{1400} + \frac{P_1}{640} + \frac{P_2}{1400} \text{ cm}^2 \dots 17)$$

dla przeważającego ciśnienia:

$$F = \frac{P_0}{1200} + \frac{P_1}{600} + \frac{P_2}{1500} \text{ " } \dots 18)$$

Dla kładek żelaznych:
dla przeważającego ciągnięcia:

$$\left. \begin{aligned} F &= \frac{P_0}{1400} + \frac{P_1}{700} + \frac{P_2}{1550} \text{ cm}^2 \\ \text{dla przeważającego ciśnienia:} \\ F &= \frac{P_0}{1200} + \frac{P_1}{650} + \frac{P_2}{1640} \text{ "} \end{aligned} \right\} \dots 19)$$

Licząc wedle wzorów Weyrauch'a mamy naprężenie dopuszczalne:

$$\text{dla żelaza zlewne} \quad \tau = 800 (1 \pm \frac{1}{2} \zeta) \text{ kg/cm}^2 \dots 20)$$

$$\text{" stali miękkiej} \quad \tau = 900 (1 + \frac{2}{3} \zeta) \text{ " } \dots 21)$$

$$\text{i} \quad \tau = 900 (1 - \frac{1}{2} \zeta') \text{ " } \dots 22)$$

$$\text{" stali średnio twardej} \quad \tau = 1000 (1 + \zeta) \text{ " } \dots 23)$$

$$\text{i} \quad \tau = 1000 (1 - \frac{1}{2} \zeta) \text{ " } \dots 24)$$

przyczem $\zeta' = \frac{\text{najmn. } P}{\text{najw. } P} = \frac{P_0}{P_0 + \alpha P_1}$, a współczynnik wstrząśnień

¹⁾ P. Podr. Statyki Budowli III. wyd. str. 72 i nast.

α jest dla mostów kolei głównych 1,3, kolei drugorzędnych 1,25, dla drogowych 1,2, dla kładek 1,1.

Na podstawie doświadczeń Bauschingera możemy przyjąć wedle Tetmajera następujące wzory:

dla żelaza zlewego:

$$\tau = 800 \pm 450 \zeta + 120 \zeta^2 \text{ kg/cm}^2 \quad . \quad . \quad . \quad 25)$$

dla stali miękkiej:

$$\tau = 900 \pm 500 \zeta + 280 \zeta^2 \text{ kg/cm}^2 \quad . \quad . \quad . \quad 26)$$

dla stali średnio twardej:

$$\tau = 1000 \pm 700 \zeta + 250 \zeta^2 \text{ kg/cm}^2 \quad . \quad . \quad . \quad 27)$$

W tych częściach mostu, które obliczamy z uwzględnieniem parcia wiatru, możemy przyjąć większe naprężenie dopuszczalne ze względu na tę okoliczność, że tak wielkie parcia wiatru, jakie w obliczeniu przypuszczamy, trafiają się bardzo rzadko. Możemy więc przyjąć:

Tabl. XI.

	naprężenie dopuszczalne
dla żelaza zlewego . . .	1150 kg/cm ²
„ stali zlewnej . . .	1400 „

Zwrócić tu musimy uwagę, że naprężenie dopuszczalne należy przyjmować większe lub mniejsze, wedle tego, czy sposób obliczenia jest więcej lub mniej ścisły. Polecamy dlatego przy obliczeniu przybliżonem belek statycznie niewyznaczalnych przyjmować naprężenie dopuszczalne mniejsze, a mianowicie dla belek kratowych wielobocznych o kracie wielokrotnej zmniejszyć naprężenie dopuszczalne o 10%.

W ostatnich czasach zaczęto używać do budowy mostów specjalne rodzaje stali, stal niklową, wyborową i t. d. Co do naprężeń, jakie w tych wypadkach dopuszczać należy, mamy do zauważenia, że możemy te naprężenia zwiększyć w stosunku do podniesienia się granicy ciastowatości. N. p. jeżeli dla stali niklowej mamy granicę ciastowatości 3500 kg/cm², to możemy naprężenie dopuszczalne zwiększyć w stosunku $\frac{3500}{2500} = 1,4$. W Ameryce idą jeszcze dalej: dla stali o granicy ciastowatości 3870 kg/cm² przyjęto dla ściegien mostu Manhattan 2810 kg/cm², dla mostu w Quebec 1970 kg/cm².

Poniżej podajemy wyciągi z rozmaitych rozporządzeń, w których po części uwzględniono zmienność naprężenia dopuszczalnego.

Rozporządzenie polskiego min. rob. publ. z 1920 r. przepisuje dla mostów drogowych: §. 51. 3. Naprężenia w żelazie zlewnem, obliczone bez uwzględnienia parcia wiatru, nie powinny przekraczać granic określonych następującem zestawieniem:

Rodzaj naprężenia	Naprężenie dopuszczalne w kg/cm^2 przekroju użytecznego tj. po odciągnięciu dziur na nity
Cisnienie lub ciągnienie dla pokładu żelaznego, podłużnic i poprzecznic	800
Cisnienie lub ciągnienie dla dźwigarów głównych	870 + 3 L
Za „L“ należy przyjąć dla dźwigarów wolno podpartych i środkowych przęseł dźwigarów wspornikowych rozpiętość przęseł w metrach, a dla wsporników podwójną długość wspornika.	(najwyżej 1150)
Ścinanie blach i prętów	700
„ nitów i sworzni śrub w jednym kierunku	800
„ w różnych kierunkach	700
Cisnienie na ściankę dziury	1600

Przy dokładnem uwzględnieniu wszystkich sił poprzecznych w §. 13 można podnieść powyższe cyfry o 200 kg/cm^2 . 4. Żelazo spawane, jakiego wolno używać tylko wyjątkowo, otrzymać może naprężenie o 10% niższe od dopuszczalnych dla żelaza zlewnego. 5. Odlewy z żelaza lanego (leiwa) w częściach podrzędnych konstrukcji na ciśnienie 700 kg/cm^2 , na ciągnienie 200 kg/cm^2 , na ciągnienie przy zginaniu 300 kg/cm^2 . 6. Stal zlewna w łożyskach, czopach, klinach na zginanie, ciągnienie lub ciśnienie 1200 kg/cm^2 . 7. Dla stali wyborowej Ministerstwo określi każdorazowo naprężenie dopuszczalne.

Okólnik min. polsk. kolei żelaznych 1919 r. Do czasu wydania przepisów stałych, ustanawia się niniejszym następujące normy tymczasowe natężeń dla żelaza zlewnego i dla innych metalów, używanych przy budowie mostów kolejowych.

I. Dla żelaza zlewnego:

1. Zasadnicze dopuszczalne K na wyciąganie i ściskanie w dźwigarach głównych:

Rozpiętości l do ... m	Bez wiatru kg/cm^2	Z wiatrem kg/cm^2
10	800	1000
20	850	1000
40	900	1050
80	950	1100
120	1000	1150

2. To samo w jezdni:

- a) jeżeli szyny leżą wprost na podłużnych belkach to $K=700 kg/cm^2$
- b) „ na poprzecznicach $K=750$ „
- c) „ „ żwirowym torze $K=800$ „

3. Na ścinanie:

a) w ścianie blachownic pozwala się tak w dźwigarach jak i w jezdni $K_1 = 0,75 K$

b) w nitach tak dźwigarów jak i części jezdni $K_2 = 0,8 K$.

4. Na zginięcie ścianki w otworach nitów liczyć

tak dla dźwigarów jak dla jezdni $K_3 = 2 K_2$.

III. O ile wchodzi w grę wyboczenie — sprawdzać pręty podług wzoru Eulera $K = 212 \pm 0000 (r/L)^2$, przyjmując współczynnik bezpieczeństwa $m=5$, gdzie r jest promień bezwładności przekroju, a L swobodna długość.

Rozporządzenie austr. min. z r. 1904. §. 8. Dopuszczalne naprężenie materiałów budowlanych i gruntu w fundamencie. A. Żelazo i stal. 1. Przy mostach kolejowych największe naprężenia żelaza i stali w kilogramach na jeden centymetr kwadratowy przekroju użytecznego, t. j. pozostającego po potrąceniu dziur na nity i części nie współdziałających, nie mogą przekraczać wartości granicznych, podanych w następującej tabeli:

Oznaczenie obciążenia i rodzaj naprężenia	Dopuszczalne najwyższe naprężenie kg/cm^2	
a) Przyjmując obciążenia, określone w §. 7 dla mostów kolejowych, z wyłączeniem działań, wywołanych przez wiatr, boczne wahanie, boczne ciśnienia i hamowanie.	Żelazo spawalne	Żelazo zlewne
1. Naprężenie przy ciągnięciu lub ciśnieniu przy rozpiętościach:		
od 0 m do 10 m według wzoru	700 + 2 l	750 + 5 l
„ 10 „ „ 20 „ „ „	700 + 2 l	760 + 4 l
„ 20 „ „ 40 „ „ „	700 + 2 l	800 + 2 l
„ 40 „ „ 80 „ „ „	720 + 1,5 l	840 + l
„ 80 „ „ 120 „ „ „	760 + l	840 + l
„ 120 „ i wyżej „ „	820 + 0,5 l	840 + l
do najwyższej	900	1000
We wzorach tych oznacza „l“ rozpiętość dźwigarów w metrach. Przy filarach i słupach uważać należy „l“ jako średnią rozpiętości przyległych przęseł mostu. Przy poprzecznicach i podłużnicach przyjąć należy za „l“ rozpiętość tych dźwigarów, przy wspornikach podwójną ich długość.		
2. Naprężenie przy ścinaniu, wyjąwszy nity	500	600
3. Naprężenie nitów przy ścinaniu:		
a) tylko w jednym kierunku	600	700

Oznaczenie obciążenia i rodzaj naprężenia	Dopuszczalne najwyższe naprężenia <i>kg/cm²</i>	
	Żelazo spawalne	Żelazo zlewne
β) we więcej kierunkach (odnosi się także do nitów do przytwierdzenia podłużnic)	500	600
4. Ciśnienie na ściankę dziury nitów (średnica nitu pomnożona przez grubość blachy)	1400	1600
b) Przyjmując wszystkie obciążenia, określone w §. 7 dla mostów kolei żelaznych.		
5. Naprężenie przy ciągnięciu lub ciśnieniu	1000	1200
6. Naprężenie przy ścinaniu, wyjąwszy nity	600	700
7. Naprężenie nitów przy ścinaniu	700	800
8. Ciśnienie na ściankę dziury nitów (średnica nitu pomnożona przez grubość blachy).	1600	1800
9. Naprężenie części z żelaza lanego, którego nie wolno jednak używać do żadnej części zeskładu wolno niosącego :	Żelazo lane	
α) na ciśnienie	700	
β) „ wyłączne ciągnięcie	200	
γ) „ ciągnięcie przy zginaniu	250	
10. Naprężenie części ze stali zlewnej w łożyskach mostu przy zginaniu na ciągnięcie lub ciśnienie	Stal zlewna	
	1000	

2. Przy mostach na gościńcach, na drogach, przy kładkach, dalej przy zeskładach chodnikowych mostów kolejowych największe naprężenia żelaza i stali w kilogramach na jeden centymetr kwadratowy przekroju użytecznego, t. j. pozostającego po odrzuceniu dziur na nity i części niewspółdziałających, nie mogą przekraczać wartości skrajnych, podanych w następującej tabeli:

Oznaczenie obciążenia i rodzaj naprężenia	Dopuszczalne najwyższe naprężenie <i>kg/cm²</i>	
a) Przyjmując obciążenia, określone w §. 7 dla mostów drogowych, tudzież dla zeskładów i chodników z wyłączeniem działań, wywołanych przez wiatr.	Żelazo spawalne	Żelazo zlewne
1. Naprężenie przy ciągnięciu i ciśnieniu do najwyższej	750 + 2 l 900	800 + 3 l 1050
We wzorach tych oznacza „l” rozpiętość dźwigarów w metrach. Przy filarach i słupach uważać należy „l” jako średnią rozpiętości przyległych przęseł mostu. Przy poprzecznicach i podłużnicach przyjąć należy za „l” rozpiętość tych dźwigarów, przy wspornikach podwójną ich długość.		
2. Naprężenie przy ścinaniu, wyjąwszy nity	500	600
3. „ nitów przy ścinaniu:		
a) tylko w jednym kierunku	600	700
β) we więcej kierunkach (odnosi się także do nitów do przytwierdzania podłużnic)	500	600
4. Ciśnienie na ściankę dziury nitów (średnica nitu pomnożona przez grubość blachy)	1400	1600
Dla naprężenia zeskładów poręczowych mają zastosowanie najwyższe wartości, podane w punkcie 1. tej tabeli.		
b) Przyjmując wszystkie obciążenia, określone w §. 7 dla mostów drogowych.		
5. Napręż. przy ciągnięciu lub ciśnieniu .	1000	1200
6. „ „ ścinaniu, wyjąwszy nity .	600	700
7. „ nitów przy ścinaniu	700	800
8. Ciśnienie na ściankę dziury nitów (średnica nitu pomnożona przez grubość blachy)	1600	1800
9. Naprężenie części z żelaza lanego, którego nie wolno jednak używać do żadnej części zeskładu wolno niosącego :	Żelazo lane	
a) na ciśnienie	700	
β) „ wyłączne ciągnięcie	200	
γ) „ ciągnięcie przy zginaniu	250	
10. Naprężenie części ze stali zlewnej w łożyskach mostów przy zginaniu na ciągnięcie lub ciśnienie .	Stal zlewna 1000	

Tabl. XII.

Rodzaj naprężenia	mosty stałe		mosty tymczasowe	
	drzewo		drzewo	
	miękkie	twarde	miękkie	twarde
	kg/cm^2		kg/cm^2	
ciągnienie	110	130	130	140
ciśnienie	80	90	90	100
zginanie	100	115	110	125

Zazwyczaj jednak nie uwzględniamy zmiany naprężeń i przyjmujemy bez względu na rozpiętość stałe naprężenie dopuszczalne.

Rozporz. polsk. min. rob. publ. z r. 1920, §. 30. 3. Statycznie obliczone naprężenia nie mogą przekraczać następujących granic.

Tabl. XIII.

Naprężenie drzewa na	Naprężenie dopuszczalne w kg/cm^2 dla drzewa	
	miękkiego	twardego
Ciągnienie	110	120
Zginanie	100	110
Ciśnienie równoległe do włókien	60	70
„ prostopadłe „ „	12	24
Ścinanie równoległe „ „	12	20
„ prostopadłe „ „	30	40

Przy obciążeniach wyjątkowych można dopuścić naprężenie większe o 40%, zaś obciążeniu automobilami większe o 20% od podanych w powyższej tablicy.

Przy obliczaniu mostów tymczasowych, budowanych na najwyżej dwuletni okres trwania, można dopuścić naprężenia o 20% wyżej od podanych w tablicy i nie uwzględniać obciążeń wyjątkowych.

Rozporząd. austr. z r. 1904. §. 8. Przy mostach kolejowych, przy mostach na gościńcach i drogach, tudzież przy zeskładach chodnikowych naprężenie drzewa, spowodowane działaniem wszystkich pionowych obciążeń (z wyłączeniem sił pionowych, spowodowanych przez wiatr) nie może przekraczać 80 *kg* przy ciągnięciu lub ciśnieniu w kierunku włókien, 10 *kg* przy ścinaniu równoległym do kierunku włókien a prostopadłe do kierunku włókien 20 *kg* na jeden centymetr kwadratowy. Przy działaniu wszystkich obciążeń (a więc także i sił poziomych) dopuszcza się powiększenie tych

wartości skrajnych aż do 90 *kg*, względnie aż do 15 i 30 *kg* na centymetr kwadratowy.

Rozporządzenie rosyjskie z r. 1900.

1. Naprężenie dopuszczalne drzewa. Przy projektowaniu mostów drewnianych kolejowych przyjmować należy następane naprężenie dopuszczalne:

a) dla drzewa iglastego gatunku zwykłego: na ciągnięcie (bezpośrednie) 100 *kg/cm*², na ciśnienie (bezpośrednie) 50 *kg/cm*², na ciśnienie prostopadłe do włókien 15 *kg/cm*², na zginanie 65 *kg/cm*².

b) dla dębu (którego wytrzymałość na ciągnięcie jest nie mniejszą, niż 965 *kg/cm*²) na ciągnięcie (bezpośrednie) 140 *kg/cm*², na ciśnienie (bezpośrednie) 75 *kg/cm*² na ciśnienie prostopadłe do włókien 38 *kg/cm*², na zginanie 100 *kg/cm*².

c) dla drzewa iglastego lepszego (którego wytrzymałość na ciągnięcie jest nie mniejszą, niż 812 *kg/cm*²) na ciągnięcie bezpośrednie 115 *kg/cm*², na ciśnienie bezpośrednie 65 *kg/cm*², na ciśnienie prostopadłe do włókien 20 *kg/cm*², na zginanie 75 *kg/cm*².

d) Przy sprawdzaniu wytrzymałości pasów w belkach kratowych należy uwzględnić także zginanie miejscowe, jeśli ono zachodzi. Przy sprawdzaniu na działanie wiatru i obciążenia pionowego w belkach kratowych, wszystkie naprężenia powyższe należy zwiększyć o 12,5 *kg/cm*².

e) Przy obliczaniu mostów drewnianych czasowych wszystkie podane powyżej pod a), b), c) i d) naprężenia można zwiększyć o 25%.

B. Belka prosta jednoprzęsłowa.

III. Działanie ciężarów skupionych.

§. 14. Linie wpływowe sił poprzecznych.

W Statyce Budowli wyłożyliśmy, jak się wyznacza siły poprzeczne i momenty dla belki w dwu punktach podpartej¹⁾ dla danego obciążenia. Teraz mamy wyznaczyć momenty i siły poprzeczne, które sprawia ciężar ruchomy. W tym celu zastanowimy się najpierw nad tem, jakie siły poprzeczne w danym punkcie *C* (rys. 22), odległym o *x* od *A*, sprawia ciężar *P*, gdy posuwa się od *A* do *B*.

Załóżmy, że na *AB* działa siła *P* w punkcie *E* w odległości *u* od lewej podpory *A*, to oddziaływanie $O_1 = P \frac{l-u}{l}$.

W celu wyznaczenia siły poprzecznej musimy rozróżnić dwa wypadki:

a) $l > u > x$, lub: b) $x > u > 0$.

¹⁾ P. Podr. Statyki Budowli, III. wyd. str. 20 i nast.