

**Grundlagen der Vorschriften für die Querschnittsberechnung
der Druckstäbe stählerner Tragwerke.**
**ZASADY PRZEPISÓW O OBLICZENIU PRZEKROI PRACUJĄ-
CYCH NA CIŚNIENIE PRĘTÓW STAŁOWYCH DŹWIGARÓW.**

Opracował Prof. Dypl. Inż. Dr ST. KUNICKI.

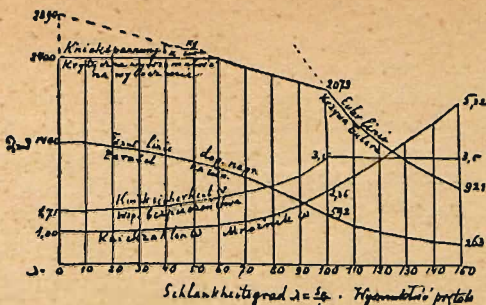
W 1936 roku w Zentralblatt der Bauverwaltung (Heft 32) ogłoszone zostało nadzwyczaj szczegółowo i starannie opracowane rozporządzenie Zarządu Państwowych Dróg Żelaznych Niemieckich (Reichsbahn) o zasadach obliczania stalowych mostów kolejowych (Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken).

Ponieważ niektóre wskazówki tego rozporządzenia mogą mieć ogólniejsze znaczenie nie tylko dla mostów, ale i dla innych konstrukcji, używanych w budownictwie, jak np. zasady obliczania na wyboczenie prętów pracujących na ciśnienie, więc wydaje się pożytecznym zaznajomić szerszy ogół techników z tymi wskazówkami niemieckich przepisów.

Z drugiej strony stosowane u nas jeszcze niedawno przepisy nieco się różnią od wspomnianych wyżej niemieckich; zatem zapewne wyjaśnienie tych różnic było by pożądanym dla interesujących się tą sprawą.

Dla praktyki najważniejszą kwestią w tym zakresie jest zastosowanie tych przepisów do stali handlowej St. 37 (szeroko używanej u nas, a także w Niemczech i w Rosji) pod działaniem głównych sił, tj. ciężaru stałego i ruchomego, oraz porównanie z podobnymi przepisami, wydanymi u nas jeszcze w 1923 roku.

We wspomnianych niemieckich przepisach podany jest niżej pomieszczony wykres, zawierający następujące dane:



rys. 1.

1) linię, rzędne której wskazują wytrzymałość krytyczną na wyoboczenie (σ_k) w kg/cm^2 , tj. wytrzymałość w momencie załamania się pręta, w zależności od wysmukłości prętów stalowych (ze stali St. 37), tj. od stosunku wolnej długości pręta do najmniejszego promienia bezwładności pola poprzecznego przekroju pręta; ten stosunek według niemieckiego znakowania wyraża się przez

$$\lambda = \frac{S_k}{i}, \text{ gdzie } i = \sqrt{\frac{I}{F}}$$

Przy obliczeniu I — najmniejszego momentu bezwładności pola poprzecznego przekroju pręta i F — pola użytecznego przekroju — obie te wartości biorą się brutto, tj. bez odliczania otworów dla nitów.

Według naszego znakowania: $\lambda = \frac{l}{r}$, lub $\lambda = \frac{l}{i}$

2) linię, rzędne której wskazują dopuszczalne naprężenia na ciśnienie: σ_d , zul (słowami: sigma — druk, zulässig); według naszego znakowania: σ_{wyb} .

3) linię, rzędne której wskazują współczynnik bezpieczeństwa na wyoboczenie ν ; według naszego znakowania: m .

4) linię, rzędne której wskazują powiększające mnożniki ω — wyoboczeniowe > 1 , przez które mnoży się otrzymana z obliczenia statycznego siła osiowa cisnąca w pręcie. Po tym powiększeniu siły pręt, przy obliczaniu jego przekroju poprzecznego, traktuje się tak, jak pręt rozciągany. Nazywa się to postępowanie sposobem ω (ω — Verfahren).

U nas sposób obliczania przekroju pręta pracującego **na ciśnienie** jest inny, jak pokazano niżej, z wyjaśnieniem różnicy. Wykres wspomniany stosuje się do wysmukłości prętów ciśnionych od $\lambda = 0$ do $\lambda = 150$, przy czym dla wysmukłości od $\lambda = 0$ do $\lambda = 100$ mamy strefę wyboczenia **niesprężystego**, dla którego krytyczna wytrzymałość określa się z danych **doświadczalnych**, według wzorów Tetmajera i innych, a od $\lambda = 100$ do $\lambda = 150$ — mamy strefę wyboczenia **sprężystego**, dla którego krytyczna wytrzymałość określa się z teoretycznego wzoru Euler'a, który to wzór **ma znaczenie tylko w granicach sprężystości materiału**. Wykres ten tyczy się wypadku idealnych przegubów na obu końcach pręta (tj. swobodnego obracania się końców pręta).

Jak już wspomniano wyżej, korzystanie z tego wykresu przepisane jest w ten sposób, że otrzymana z obliczenia w pręcie ciśnionym siła (czyli reakcja) S — powinna być pomnożona przez mnożnik powiększający $\omega \geq 1$, odpowiedni do wysmukłości danego pręta (wzięty albo z linii czwartej wykresu, Rys. 1, albo z oddzielnej tablicy Nr 19, podanej w przepisach).

Mając otrzymaną w ten sposób wartość $\omega \cdot S$, rozpatrujemy pręt ciśniony jako rozciągany i przekrój jego F otrzymujemy, dzieląc $\omega \cdot S$ przez **dopuszczalne naprężenie na rozciąganie**, które dla stali St. 37 w Niemczech przyjmuje się obecnie (przy działaniu tylko sił głównych) $\sigma_{zul} = 1400 \text{ kg/cm}^2$.

Czyli otrzymujemy:

$$F = \frac{\omega \cdot S}{\sigma_{zul}} = \frac{\omega \cdot S}{1400}$$

Ten sposób określenia przekroju prętów pracujących na ciśnienie nosi nazwę „sposobu ω “ („ ω — Verfahren“).

Ten sam wzór można napisać inaczej, jeśli podzielić i licznik i mianownik przez $\omega > 1$

$$F = \frac{S}{\frac{1}{\omega} \sigma_{zul}}$$

Nazwijmy: $\frac{1}{\omega}$ przez β (lub φ) i powiedzmy, że to β — jest to współczynnik **zmniejszający** i zauważmy, że:

$$\frac{1}{\omega} \cdot \sigma_{zul} = \sigma_{d.zul}$$

tj. zmniejszonemu dopuszczalnemu naprężeniowi w prętach ciśnionych.

Ten sposób wyznaczenia F możemy nazwać sposobem β , lub φ (Das β oder φ — Verfahren). Możemy obliczyć wartości β (lub φ) i podać takowe w tablicy zmniejszających współczynników.

Taka właśnie tablica była stosowana w naszych dotychczasowych przepisach, podobnie jak i we Francji.

Zatem widzimy, że do jednakowego zasadniczo rezultatu co do przekroju pręta ciśnionego możemy dojść albo stosując niemiecki powiększający mnożnik $\omega > 1$ w liczniku, lub nasz zmniejszający mnożnik $\beta < 1$ (lub φ), < 1 w mianowniku.

Co zaś do cyfr β (lub φ), podanych w naszych dotychczasowych przepisach, to takowe mogą być uzgodnione z cyframi $\frac{1}{\omega}$ z niemieckich przepisów na mocy następujących rozważań.

W niemieckich przepisach czu! — dopuszczalne naprężenie na rozciąganie dla stali handlowej St.37 było przyjęte = 1400 kg/cm² (przy działaniu tylko sił głównych)*. W naszych przepisach z 1923 roku przyjęte było to naprężenie tylko 1250 kg/cm². Oprócz tego współczynniki bezpieczeństwa były przyjęte w naszych przepisach z większym zapasem niż w niemieckich, a mianowicie przy λ od 100 do 150 w niemieckich przepisach $\nu = 3,5$, a w naszych $m = 4$; przy λ od 0 do 100 w niemieckich przepisach ν od 1,71 do 3,5, a w naszych — od 2,65 do 4-ch. Dla uzgodnienia różnicy w cyfrach β z naszych tablic i $\frac{1}{\omega}$ z niemieckich należałoby β przeliczyć zgodnie z cyfrą 1400.

Postępy metalurgii i techniki mostowej usprawiedliwiają pewne powiększenie naprężeń i zmniejszenie zapasów bezpieczeństwa. Niezależnie od tego doświadczenie z czasów wojny światowej, tj. z okresu intensywnego ruchu bardzo ciężkich pociągów po mostach dawnej budowy, obliczonych na mniejsze obciążenia,

*) a przy działaniu sumarycznym: głównych i dodatkowych sił (wiatr, hamowanie, zmiana temperatury etc.) do 1600 kg/cm².

pokazało, że naprężenie rozciągające do 1400 kg/cm^2 (od sił głównych) w mostach z żelaza zlewnego (miękką stal) może być bezpiecznie dopuszczalne, o ile most znajduje się w dobrym stanie fizycznym, tj. nie ma uszkodzeń w swoich składowych częściach.

Obliczenie nowych cyfr mogło być wykonane, wychodząc z następujących zrównań:

$$1) \quad \frac{1}{\omega} \cdot \sigma_{zul} = \sigma_{d.zul}$$

$$2) \quad \sigma_{d.zul} = \frac{\sigma_k}{\nu}$$

$$3) \quad \frac{1}{\omega} = \frac{\sigma_k}{\nu \sigma_{zul}} = \beta$$

$$4) \quad \omega = \frac{\nu \sigma_{zul}}{\sigma_k}$$

$\sigma_{zul} = 1400 \text{ kg/cm}^2$ — dopuszczalne naprężenie na rozciąganie (od głównych sił) dla stali St. 37;

σ_k — dla λ od 0 do 60, — $\sigma_k = 2400 \text{ kg/cm}^2$, tj. granica plastyczności stali St. 37;

σ_k — dla λ od 60 do 100, $\sigma_k = 2890,5 - 8,175 \lambda \text{ kg/cm}^2$ (zmieniony wzór Tetmajer'a);

σ_k dla λ od 100 do 150 — $\sigma_k = \frac{20.726.000}{\lambda^2} \text{ kg/cm}^2$ (wzór Euler'a);

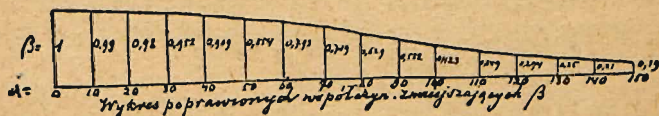
ν — zmienia się od 1,71 do 3,5, przy czym dla wysmukłych prętów, przy λ od 100 do 150, tj. w strefie sprężystej $\nu =$ stałej wartości 3,5.

Najprościej jest obliczyć poprawione β z tablicy dla ω , podanej w przepisach (tablica 19), co wykonujemy niżej, podając porównawczo obecne nasze β' , oraz $\sigma_d = \sigma_{d,zul}$ — dopuszczalne naprężenia na ciśnienie już poprawione.

Tablica poprawionych β i $\sigma_d = \sigma_d \cdot \text{zul}$				
λ	ω	poprawione $\beta = \frac{1}{\omega}$	poprzednie β'	poprawione $\sigma_d = \sigma_d \cdot \text{zul}$ kg/cm ²
0	1,00	1,00	1,00	1400
10	1,01	0,99	0,98	1386
20	1,02	0,98	0,91	1372
30	1,05	0,952	0,84	1333
40	1,10	0,909	0,77	1273
50	1,17	0,854	0,70	1196
60	1,26	0,793	0,63	1110
70	1,39	0,719	0,56	1007
80	1,59	0,629	0,49	881
90	1,88	0,532	0,42	745
100	2,36	0,423	0,35	592
110	2,86	0,349	0,29	487
120	3,40	0,294	0,25	412
130	4,00	0,250	0,21	350
140	4,63	0,210	0,18	294
150	5,32	0,19	0,16	268

Z tej tablicy widzimy, że β , poprawione na zasadzie niemiec-
kich przepisów, okazuje się **nieco większe** od naszego dotychcza-
sowego β (czyli, że na przekrojach prętów ciśnionych będziemy
mieli **pewną ekonomię**).

Niżej podajemy wykres poprawionej linii β (rys. 2), oraz wy-
kres poprawionej linii współczynników bezpieczeństwa m (ryc. 3).



rys. 2.



rys. 3.

Zaznaczamy, że stosownie do przepisów niemieckich, pręty o wysmukłości większej od $\lambda = 150$ nie powinny w ogóle być używane. Dopuszczone mogą być jednak w wiatrownicach i w słupkach, które zabezpieczają pasy od wybożenia. Z tego powodu ograniczyliśmy się w niniejszej pracy do cyfr dotyczących się prętów o wysmukłości do $\lambda = 150$.

W niemieckich przepisach, dotyczących się wybożenia, należy wskazać na jeszcze jedno ulepszenie, a mianowicie na zastąpienie w linii wartości $\delta_{d,zul}$ łączonych prostych — krzywą paraboliczną. Daje to większe stopniowanie w przejściu od jednych wartości do sąsiednich i zmniejsza cokolwiek te wartości, dając pewien zapas.

Ważną bardzo zaletą nowych niemieckich przepisów jest wyraźne rozgraniczenie dwóch stref wybożenia: niesprężystego i sprężystego. Jak wiadomo, poprzednio zdarzały się wypadki ślepego posilkowania się wzorem Euler'a i poza granicami jego stosowności, co doprowadziło do dwóch poważnych katastrof budowlanych. O tych wypadkach autor niniejszej pracy wspominał w piśmie „Ars Technica“ w latach 1922 i 1923 w artykule pod tytułem: „W kwestii norm do obliczania mostów żelaznych kolejowych“. Artykuł ten posłużył jako podstawa do Rozporządzenia Ministra Kolei Żelaznych z d. 10/III 1923 NV, 1940/22/23 w sprawie ustalenia norm dopuszczalnych natężeń dla żelaza zlewnego i innych materiałów przy obliczaniu mostów kolejowych. W artykule wspomnianym zostały wyraźnie uwzględnione sfery wybożenia sprężystego i niesprężystego.

Dla uzupełnienia powyżej wskazanego pomieszczamy poniżej wyciąg z dziekawej tablicy Nr 18 wytrzymałości krytycznej na wybożenie, podanej w niemieckich przepisach (z naszymi uwagami).

Krytyczna wytrzymałość na wyboczenie σ_k

1	2	3
	Dla stali St. 37 σ_F = granica plastyczności = 2400 Kg/cm ² E = 2.100.0000 Kg/cm ² (współcz. spręż. podłużn.)	Dla stali St. 52 (wysokowartościowej) σ_F = gr. plast. = 3.600 Kg/cm ² E = 2.100.000 Kg/cm ² (wsp. sprż. podłużn.)
Wysmukłość $\lambda = \frac{l}{i}$	dla $\lambda \leq 60 \dots \sigma_k = 2400$ Kg/cm ² dla $\lambda \geq 60$ do $\leq 100 \dots \sigma_k =$ $= 2890,5 - 8,175 \lambda$ dla $\lambda \geq 100 \dots \sigma_k = \frac{20.726000}{\lambda^2}$ Kg/cm ²	dla $\lambda \leq 60 \dots \sigma_k = 3600 =$ = Kg/cm ² dla $\lambda \geq 60 \leq 100 \dots \sigma_k =$ $= 5890,5 - 8,175 \lambda$ dla $\lambda > 100 \dots \sigma_k = \frac{20.726.000}{\lambda^2}$ Kg/cm ²
O do 60 70 80 90	2400 2318 2237 2155	3600 3218 2837 2455
100 110 120 130 140 150	2073 1713 1439 1226 1057 921	2073 1713 1439 1226 1057 921

W tej tabelicy zasługuje na uwagę fakt, że dla **wyboczenia sprężystego** mamy jednakowe cyfry krytycznej wytrzymałości dla obu materiałów, czy to będzie stal St. 37, czy stal St. 52. Pochodzi to stąd, że E przyjęte jednakowe dla obu materiałów, a $\sigma_k = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$. Różnica w cyfrach, w zależności od rodzaju materiału, tyczy się tylko wyboczenia **niesprężystego**. W przepisach niemieckich zaznaczono także, zupełnie konsekwentnie, że dla stre-

fy wybożenia sprężystego, tj. dla $\lambda \geq 100$ współczynnik bezpieczeństwa ν (przy obciążeniu tylko siłami głównymi) dla wszystkich rodzajów stali przyjmuje się jednakowy, a mianowicie $\nu = 3,5$.

Szczegółowa tablica Nr 19 w niemieckich przepisach zawiera mnożniki (ω) powiększające dla obu stali i dla wszystkich wartości λ od 0 do 250, różniących się od siebie o jedynkę. Należy zaznaczyć, że dla stali St. 52 dopuszczalne naprężenie na rozciąganie (od głównych sił) równa się $\sigma_{zul} = 2100 \text{ kg/cm}^2$.

Co do dalszych szczegółów, dotyczących się obliczenia ciśnionych prętów stalowych na wybożenie, rekomendujemy czytelnikom zaznajomić się w oryginale ze wspomnianymi przepisami.

LITERATURA.

Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken (BE), herausgegeben von der Deutschen Reichsbahn. Zentralblatt der Bauverwaltung 1936, Beilage zu Heft 32.

A. Laskus. Festigkeitslehre. Beton-Kalender 1938.

Prof. A. Föppl. Vorlesungen über Technische Mechanik. Festigkeitslehre.

Dziennik Urzędowy Ministerstwa Kolei Żelaznych Nr 11 — 1923. Rozporządzenie M-ra Kolei Żel. z d. 10/III 1923 w sprawie ustalenia norm dopuszczalnych napięć dla żelaza zlewne przy obliczaniu mostów kolejowych.

Prof. Dypl. Inż. Dr St. Kunicki. W kwestii norm do obliczania mostów żelaznych kolejowych. Ars Technica 1922 i 1923 rok.

Prof. Dypl. Inż. Dr St. Kunicki. Nowoczesny rozwój zastosowania żelaza i stali w budownictwie. Informator Kalendarz Budowlany na rok 1939 pod naczelną redakcją Prof. D-ra St. Kunickiego.

Projekt norm PN/B 193 do obliczania konstrukcji stalowych (1938 r.) w znacznej mierze uwzględnia wskazówki powyższe.