

PODREČZNIK TEORJI MOSTÓW

DLA

INŻYNIERÓW I STUDENTÓW POLITECHNIKI

CZEŚĆ I. BELKI PROSTE

TOM I. BELKI STATYCZNIE WYZNACZALNE

Z 190 RYSUNKAMI I 5 TABLICAMI.

OPRACOWAŁ

Dr. MAKSYMILJAN THULLIE,

PROFESOR POLITECHNIKI LWOWSKIEJ.

—
TEKST
—

WYDANIE TRZECIE.

WE LWOWIE

NAKŁADEM KSIĘGARNI GUBRYNOWICZA I SYNA
1922.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA T. XXXII.

PODRĘCZNIK TEORJI MOSTÓW

DLA

INŻYNIERÓW I STUDENTÓW POLITECHNIKI

CZĘŚĆ I. BELKI PROSTE

TOM I. BELKI STATYCZNIE WYZNACZALNE

Z 190 RYSUNKAMI I 5 TABLICAMI.

OPRACOWAŁ

Dr. MAKSYMILJAN THULLIE,

PROFESOR POLITECHNIKI LWOWSKIEJ.

—
TEKST
—

=====
WYDANIE TRZECIE.
=====

WE LWOWIE

NAKŁADEM KSIĘGARNI GUBRYNOWICZA I SYNA

I. ZWIĄZKOWA Drukarnia we Lwowie, ul. Lindego 4.

1922.

Przedmowa do trzeciego wydania.

W trzeciem wydaniu zatrzymałem dawny układ dzieła, rozszerzyłem tylko niektóre działy, i uwzględniłem przepisy ministerjalne polskie.

Aby zmniejszyć o ile możności koszt wydawnictwa, a zatem i cenę książki, ryciny zebrałem w osobnym atlasie.

Podziękować tu muszę moim asystentom: Dr. Adamowi Kurylle, Adamowi Hojarczykowi i Emilowi Łazorykowi za przygotowanie rysunków, przeliczenie przykładów i pomoc w korekcie.

We Lwowie, w kwietniu 1922 r.

Dr. Maksymiljan Thullie.

Omyłki druku.

| | | |
|---------------------|---------------|-----------------|
| | zamiast | ma być |
| Str. 90 w. 8 z góry | półprzegubowa | półprzekątniowa |

Spis rzeczy.

| | Str. |
|---|------|
| Wstęp | 1 |
| A. Siły działające na mosty. | |
| I. Siły zewnętrzne. | |
| §. 1. Rodzaje sił zewnętrznych | 3 |
| §. 2. Ciężar własny | 4 |
| §. 3. Ciężar ruchomy mostów drogowych | 13 |
| §. 4. Ciężar ruchomy mostów kolejowych | 17 |
| §. 5. Obciążenie śniegiem | 20 |
| §. 6. Ciśnienie poziome, powstające wskutek chwiania się parowozów i wozów | 21 |
| §. 7. Parcie wiatru | 21 |
| §. 8. Siła odśrodkowa | 26 |
| §. 9. Siła podłużna wskutek hamowania | 28 |
| §. 10. Wpływ dynamiczny ciężarów w ruchu | 28 |
| §. 11. Drganie mostu | 29 |
| II. Naprężenie dopuszczalne. | |
| §. 12. Naprężenie dopuszczalne dla mostów żelaznych i stalowych | 30 |
| §. 13. Naprężenie dopuszczalne dla mostów drewnianych | 38 |
| B. Belka prosta jednoprzęsłowa. | |
| III. Działanie ciężarów skupionych. | |
| §. 14. Linje wpływowe sił poprzecznych | 40 |
| §. 15. Linje wpływowe momentów | 42 |
| §. 16. Sumowa linja wpływowa | 44 |
| §. 17. Najniekorzystniejsze obciążenie ze względu na siły poprzeczne | 44 |
| §. 18. Wyznaczenie największych sił poprzecznych | 46 |
| §. 19. Najniekorzystniejsze położenie układu ciężarów ze względu na momenty | 48 |
| §. 20. Wyznaczenie największych momentów | 51 |
| §. 21. Bezwzględnie największy moment | 55 |
| §. 22. Największe momenty dla zmiennych rozpiętości | 60 |

X. Ilość materiału.

Str.

| | | |
|--------|---------------------------------------|-----|
| §. 53. | Uwagi ogólne | 103 |
| §. 54. | Objętość pasów | 104 |
| §. 55. | „ kraty z jednego materiału | 105 |
| §. 56. | „ „ z różnego „ | 107 |
| §. 57. | „ narożników | 108 |
| §. 58. | „ całej belki kratowej | 109 |

D. Belka kratowa wieloboczna.

XI. Belka o kracie pojedynczej.

| | | |
|--------|---|-----|
| §. 59. | Analityczne wyznaczenie sił wewnętrznych w pasach | 110 |
| §. 60. | „ „ „ „ w kracie | 111 |
| §. 61. | Krzyżulce gibkie | 113 |
| §. 62. | Ogólne wykreślne sposoby wyznaczenia sił wewnętrznych | 113 |
| §. 63. | Wyznaczenie wykreślne sił wewnętrznych w pasach | 114 |
| §. 64. | „ „ „ „ w krzyżulcach | 116 |
| §. 65. | Linje wpływowe sił wewnętrznych w krzyżulcach | 118 |
| §. 66. | Ogólny sposób wykreślenia linij wpływowych według Müllera Breslaua | 121 |
| §. 67. | Linje wpływowe sił wewnętrznych dla belki z kratą półprzekątniową | 122 |
| §. 68. | Linje wpływowe dla belki z drugorzędem podparciem | 123 |
| §. 69. | Wyznaczenie analityczne największych sił wewnętrznych w krzyżulcach | 124 |
| §. 70. | Linje wpływowe sił wewnętrznych w pasach. Największe i najmniejsze siły | 125 |
| §. 71. | Wyznaczenie wykreślne największych sił wewnętrznych | 125 |
| §. 72. | Największe siły wewnętrzne w krzyżulcach dla obciążenia ciągłego | 126 |
| §. 73. | Największe siły wewnętrzne w krzyżulcach dla układu ciężarów skupionych | 131 |
| §. 74. | Podwójne krzyżulce gibkie | 134 |
| §. 75. | „ „ „ „ tęgic | 135 |

XII. Belka o kracie wielokrotnej.

| | | |
|--------|--|-----|
| §. 76. | Zasada obliczenia | 136 |
| §. 77. | Wyznaczenie sił wewnętrznych w pasach | 136 |
| §. 78. | Linje wpływowe sił wewnętrznych w pasach i krzyżulcach | 137 |
| §. 79. | Przybliżone wyznaczenie sił wewnętrznych | 138 |

XIII. Belka kratowa paraboliczna.

| | | |
|--------|--|-----|
| §. 80. | Kształt pasów | 139 |
| §. 81. | Przybliżone wyznaczenie sił wewnętrznych | 140 |
| §. 82. | Linje wpływowe belki górnoparabolicznej | 141 |
| §. 83. | Siły wewnętrzne przy obciążeniu zupełnem | 143 |

| | Str. |
|--|------|
| §. 84. Największe siły wewnętrzne. | 143 |
| §. 85. Przykład | 145 |

XIV. Odmiany belki parabolicznej.

| | |
|---|-----|
| §. 86. Zasada belki Paulego | 148 |
| §. 87. Kształt „ „ | 149 |
| §. 88. Belka paraboliczna niezbieżna | 150 |
| §. 89. Przykład. Obliczenie sił wewnętrznych dla obciążenia układem ciężarów skupionych | 150 |

XV. Belka Schwedlera.

| | |
|---|-----|
| §. 89. Określenie belki | 156 |
| §. 90. Przybliżone wyznaczenie kształtu pasów | 157 |
| §. 91. Dokładne wyznaczenie kształtu belki | 161 |
| §. 92. Przykład | 162 |

XVI. Inne jednoprzęsłowe belki kratowe.

| | |
|--|-----|
| §. 93. Belki Winklera | 170 |
| §. 94. Belka eliptyczna | 171 |
| §. 95. „ górnoparaboliczna o stałym ciśnieniu w pasie górnym | 172 |
| §. 96. Belka z ciężarem pomocniczym | 173 |
| §. 97. Belka rozporowa prosta | 173 |

XVII. Belka wspornikowa prosta.

| | |
|---|-----|
| §. 98. Belka dwupasowa | 175 |
| §. 99. Linje wpływowe dla sił wewnętrznych w kracie | 176 |
| §. 100. Belki trzypasowe równoległe | 176 |
| §. 101. Linje wpływowe pasów i krzyżulców belki równoległej | 177 |
| §. 102. Belka trzypasowa wieloboczna | 179 |

E. Ugięcie belki.

XVIII. Analityczne i wykresne wyznaczenie ugięcia.

| | |
|---|-----|
| §. 103. Ogólne uwagi | 180 |
| §. 104. Wyznaczenie analityczne ugięcia belki | 182 |
| §. 105. Ugięcie pasu zakrzywionego | 186 |
| §. 106. Wyznaczenie wykresne ugięcia belki kratowej | 187 |
| §. 107. Odkształcenie kratownicy trójkątowej | 188 |
| §. 108. Plan przesunięć | 190 |
| §. 109. Dokładność wyznaczenia ugięcia | 191 |

DODATEK.

| | |
|----------------------|-----|
| Literatura | 192 |
|----------------------|-----|

WSTĘP.

Opracowując „Podręcznik Statyki Budowli“, wyłączyliśmy ze statyki budowli obliczenie mostów, które z powodu odmiennego sposobu obciążenia jest przedmiotem osobnej nauki, tak zwanej teorii mostów (n. *Theorie der Brücken*), którą obecnie zamyślamy wyłożyć.

Zadaniem teorii mostów jest obliczenie sił, działających w każdej części mostu, odkształceń, spowodowanych temi siłami i wyznaczenie potrzebnego przekroju każdej części mostu.

Wyznaczymy więc najpierw:

a) siły zewnętrzne (n. *äussere Kraft*, fr. *force extérieure*, a. *external force*, *stress*, cz. *silý zevnitřní*).

b) siły wewnętrzne (n. *innere Kraft*, fr. *force intérieure*, a. *inner force*, *strain*), potem

c) najkorzystniejszy ustrój mostu ze względu na koszt i ilość potrzebnego materiału i

d) odkształcenie mostu (n. *Formänderung*, fr. *déformation*, a. *deformation*, r. деформация).

Częściami składowymi mostu są:

1. przyczółki i filary (n. *Widerlager*, *Pfeiler*, fr. *culée*, *pile*, a. *pier*, cz. *pilář*, r. опора).

2. łożyska (n. *Lager*, f. *support*, *coussinet*, a. *support bearing*, cz. *ložko*, *ložisko*, r. балансиръ), służące do przeniesienia sił z belek mostowych na przyczółki i filary.

3. dźwigary (n. *Träger*, fr. *poutre*, a. *truss*, r. балка).

4. pomost (n. *Brückenbahn*, fr. *tablier*, a. *planking*).

5. tężniki pionowe i poziome (n. *Querverbindungen*, f. *contrevetement*, a. *transversal bracing*, cz. *zavětrování*, r. поперечная связь).

Obliczenie filarów, łożysk, pomostu i tężników podajemy w części ustrojowej budowy mostów; tu mówić będziemy tylko o dźwigarach, których jest kilka rodzajów.

Rozróżniamy mianowicie dźwigary główne (n. *Hauptträger*, fr. *poutre principale*, cz. *hlavni nosník*) *m m* (rys. 1), spoczywające za pośrednictwem łożysk na filarach i przyczółkach, dźwigary poprzeczne czyli poprzecznice (n. *Querträger*, fr. *pièce du pont, traverse*, a. *cross girder, floor beam*, cz. *příčník*, r. *поперечная балка*) *n n*, spoczywające na belkach głównych i belki podłużne czyli podłużnice (n. *Nebenträger, secundäre Längsträger*, fr. *longeron, longrine*, a. *stringer*, cz. *podelník*, r. *продольная балка*) *p p*.

Dźwigary główne dzielą się znów ze względu na łożyska na 3 rodzaje. Jeżeli dźwigar obciążonym jest tylko siłami pionowymi, a oddziaływania są także pionowe, nazywamy dźwigar belką prostą (n. *gerader Träger, Balkenträger*, fr. *poutre droite*, a. *straight girder, beam*, cz. *nosník tramový*) (rys. 2). Drugim rodzajem dźwigaru jest wieszak (n. *Hängwerksträger*, fr. *poutre suspendante*, a. *suspension girder, hanging girder*, cz. *nosník visutý*, r. *подвешная ферма*), który działa nawet przy obciążeniu pionowym na podpory w kierunku ukośnym, dążąc do ich zbliżenia (rys. 3) n. p. przy moście wiszącym. Nareszcie rozpornicą, belką rozporową (n. *Sprenghwerksträger*, fr. *poutre à jambettes, poutre de châssis*, a. *strut framed girder*, cz. *nosník vzepřený*) nazywamy dźwigar, który działa nawet przy obciążeniu pionowym na podpory w kierunku ukośnym, dążąc do ich oddalenia (rys. 4). Jeżeli dźwigar taki ma kształt łuku, to nazywamy ją belką łukową lub łukiem (n. *Bogenträger*, fr. *poutre en arc, arc*, a. *arch, arched girder*, cz. *nosník obloukový*, r. *арка*).

Oprócz tego używamy często dźwigarów układu złożonego, n. p. połączenia belki prostej z wieszakiem, wieszaru z łukiem, belki prostej z łukiem.

Ze względu na materiał i cel rozróżniamy dalej mosty drewniane, żelazne, stalowe, kamienne, betonowe i żelbetowe, dalej mosty kolejowe, drogowe, mosty dla pieszych, wodociągowe i kanałowe.

Według poprzedniego podzielimy nasz przedmiot, t. j. teorię mostów, w następujący sposób:

I. Belki proste.

II. Rozpornice, wieszaki, łuki i układy złożone.

Obliczenie mostów sklepionych i filarów podajemy przy opisie ustroju mostów.

Część pierwsza teorii mostów zawierać będzie tylko teorię belek prostych, którą podzielimy w ten sposób, że najprzód będziemy mówić o siłach zewnętrznych, działających na belki, potem o siłach wewnętrznych, a nakoniec o ugięciu belek. Przy wykładzie o siłach zewnętrznych rozróżniamy belki proste jednoprzęsłowe (n. *einfacher Träger*, cz. *nosnik prosty*), spoczywające na dwóch podporach, i belki ciągle (n. *continuirlicher Träger*, fr. *poutre continue*, a. *continuous beam*, cz. *nosnik spójny*), podparte w więcej niż dwu punktach. Przy belkach ciągłych urządzamy niekiedy przeguby (n. *Gelenk*, fr. *charnière*, a. *joint*, cz. *kloub*) i nazywamy je wtedy belkami ciągłymi przegubowymi (n. *continuirlicher Gelenkträger*), a gdy belki te są wieloboczne belkami wspornikowymi (n. *Consolträger*, a. *cantilever*).

Ponieważ obliczenie przekroju belek blaszanych i drewnianych podaliśmy w statyce budowli, więc będziemy tu mówić tylko o siłach wewnętrznych w belkach kratowych. Z powodu zaś, że do obliczenia sił zewnętrznych bezprzegubowych belek ciągłych potrzebna jest znajomość sił wewnętrznych, mówić będziemy o bezprzegubowych belkach ciągłych w jednym z późniejszych rozdziałów.

Stąd wynika następny podział przedmiotu:

- A. Siły, działające na mosty.
- B. Belka prosta jednoprzęsłowa.
- C. Belka kratowa równoległa.
- D. Belka kratowa wieloboczna.
- E. Belka ciągła bezprzegubowa.
- F. Belki kratowe statycznie niewyznaczalne.
- G. Naprężenia drugorzędne.

Cztery pierwsze działy stanowią tom pierwszy, następne tom drugi.

A. Siły działające na mosty.

I. Siły zewnętrzne.

§. 1. Rodzaje sił zewnętrznych.

Na mosty działają rozmaitego rodzaju siły zewnętrzne, a mianowicie:

1. Ciężar własny, stały (n. *Eigengewicht*, *ruhende Belastung*, fr. *charge permanente*, a. *dead load*, cz. *zatižení stálé*,