

## Analiza metod obliczania odciągów masztów Analysis of calculation methods for mast guys

Szymon Pałkowski

*Katedra Konstrukcji Metalowych,  
Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji, Politechnika Koszalińska  
ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin  
e-mail: szp@wb.tu.koszalin.pl*

*Department of Metal Structures  
Faculty of Civil Engineering, Environmental and Geodetic Sciences  
Koszalin University of Technology  
ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin  
e-mail: szp@wb.tu.koszalin.pl*

---

### Streszczenie

W pracy przeprowadzono analizę kilku metod obliczania odciągów masztów. W pierwszej kolejności analizowano przybliżone równanie odciążu, w którym ciężar własny został zastąpiony obciążeniem równomiernie rozłożonym wzdłuż cięciwy odciążu. Następnie przedstawiono pewną modyfikację tego równania polegającą na iteracyjnej korekcie obciążenia z uwzględnieniem krzywej zwisu odciążu z poprzedniej iteracji. Tak zmodyfikowane równanie może mieć zastosowanie także w przypadku odciągów stromych. Omawiane rozwiązania zostały zweryfikowane za pomocą równania krzywej łańcuchowej. Ponadto w pracy przedstawiono obszerną analizę parametryczną uwzględniającą prezentowane metody obliczania odciągów masztów oraz sformułowano pewne wnioski praktyczne.

### Abstract

Some methods for calculation of mast guys have been presented in this paper. At the beginning, an approximate guy equation was analysed where the self-weight of the guy has been replaced by a load uniformly distributed along the guy chord. The modification of this equation caused by the iteration correction of the load taking into account the guy curve from the previous iteration was described. Such modified equation may also apply in the case of steep guys. The considered solutions were verified using a catenary curve equation. Furthermore a comprehensive parametric analysis taking into account the presented method of calculation of the guys and some practical conclusions have been presented in the paper.

*Słowa kluczowe: konstrukcje stalowe, maszty z odciągami*

*Keywords: steel structures, guyd masts*

---

### 1. Wstęp

W pracy przedstawiono kilka metod obliczania odciągów masztów od ciężaru własnego. W pierwszej kolejności uwzględniono znane rozwiązanie przybliżone, w którym ciężar własny odciążu jest zastąpiony obciążeniem równomiernie rozłożonym. Rozwiązanie takie można, jak wiadomo, stosować do obliczania niezbyt stromych odciągów. W przeciwnym bowiem przypadku założenie dotyczące równomiernego obciążenia odciążu nie jest spełnione.

W celu możliwości stosowania przybliżonego rozwiązania także w przypadku stromych odciągów zastosowano rozwiązanie dwuetapowe. W pierwszym etapie przyjmuje się konwencjonalne, równomierne obciążenie odciążu i wyznacza się krzywą zwisu odciążu wynikającą z tego założenia. W drugim etapie, opierając się na wyznaczonej krzywej, dokonuje się pewnej korekty obciążenia odciążu i na tej podstawie oblicza się nową siłę w odciążu.

To drugie rozwiązanie uwzględniające korektę obciążenia odciążu porównano z rozwiązaniem ścisłym, opartym na krzywej łańcuchowej. Z porównania tego wynika, że proponowane rozwiązanie zmodyfikowane może być stosowane do obliczania praktycznie wszystkich odciągów masztów.

### 1. Introduction

Some methods for calculating of mast guys taking into account the self-weight of the guy have been presented in the paper. At the beginning the known approximate solution was considered, where the self-weight is replaced by a uniformly distributed load. Such solutions, as it is known, may be used to calculate not too steep guys. Otherwise the assumption concerning the uniform load of the guy is not fulfilled.

For the applicability of the approximate solution also in the case of steep guys a two-step solution has been proposed. In the first step the conventional uniform load is assumed and the guy curve as a result of this assumption is determined. In the second step, based on the determined curve, certain correction of guy load is performed and a new force in a guy is calculated.

This second solution taking into account the guy load correction was compared with the exact solution based on the catenary curve. This comparison shows that the proposed modified solution may be used practically for calculation all the mast guys.

---

**2. Przybliżone rozwiązanie odciążu masztu**

Rozważmy ciężno (odciąż) o ciężiwie ukośnej obciążone ciężarem własnym  $g$ . Obciążenie  $g$  jest na ogół zastępowane grawitacyjnym obciążeniem równomiernie rozłożonym  $q$  (Rys. 1). Wartość siły  $S$  działającej wzdłuż ciężwy ciężna można wtedy obliczyć z prostego równania

$$S^3 + S^2 EA \left[ 1 - \frac{1}{s_0} (l_s - \alpha_l \Delta T s_0) \right] = \frac{EA \cos \alpha q^2 l^3}{24 s_0}, \tag{1}$$

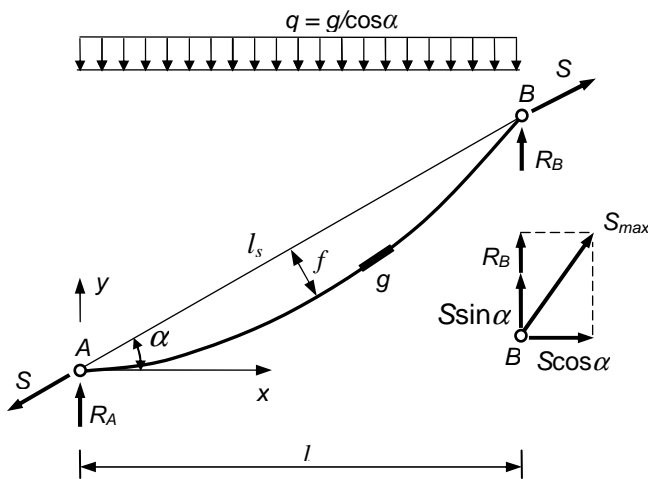
gdzie:

- $s_0$  – początkowa długość odciążu,
- $l_s$  – długość ciężwy odciążu,
- $\alpha_l$  – współczynnik wydłużalności liniowej odciążu,
- $\Delta T$  – zmiana temperatury.

**2. Approximate solution for mast guy**

Let us consider a slant cable (guy) under the self-weight  $g$ . The load  $g$  is generally replaced by the uniformly distributed gravity load  $q$  (Fig. 1). The value of the force  $S$  acting in the cable chord direction can be calculated from the simple equation

- where:
- $s_0$  – length of the unloaded cable,
- $l_s$  – length of cable chord,
- $\alpha_l$  – linear extension factor,
- $\Delta T$  – change of temperature.



Rys. 1. Przybliżone obciążenie  $q$  odciążu masztu  
 Fig. 1. Approximate load  $q$  of mast guy

Dowolną rzędną  $y$  osi ciężny można obliczyć z równania [2,3]

Any coordinate  $y$  can be calculated from the equation [2,3]

$$y = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{M}{S \cos \alpha} \tag{2}$$

gdzie  $M$  jest równaniem momentu od obciążenia  $q$ , jak w przypadku belki swobodnie podpartej o rozpiętości  $l$ .

where  $M$  is the bending moment function calculated for simply supported beam with span  $l$  and loaded with given load  $q$ .

**3. Zmodyfikowane równanie odciążu**

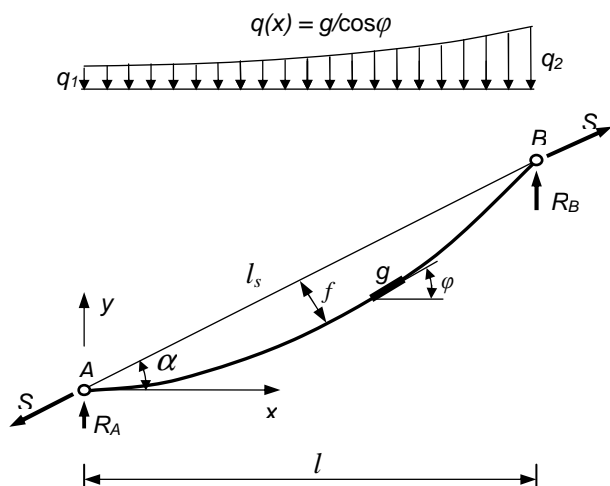
**3. Modified guy equation**

Przestawiona przybliżona metoda obliczania odciążu masztu ma ograniczony zakres zastosowań do odciążów niezbyt stromych i o niezbyt dużych strzałkach zwisu, ponieważ w tych przypadkach jest dopuszczalne zastąpienie ciężaru ciężny  $g$  obciążeniem równomiernie rozłożonym  $q$ .

The presented approximate method for calculating of the mast guys has a limited range of application for not too steep guys and for not too large guy sags, because in these cases the replacement of the guy self-weight  $g$  by uniformly distributed load  $q$  is acceptable.

W przypadku stromych odciążów lub w wypadku odciążów o dużych zwisach zaczyna się pojawiać wyraźna różnica między stałym kątem nachylenia ciężwy  $\alpha$  a kątem  $\varphi$  określającym nachylenie osi odciążu (Rys. 2). Ta różnica między kątami  $\alpha$  i  $\varphi$  sprawia, że obciążenie  $q(x)$  działające na odciąż jest nierównomierne i pionowa reakcja  $R_B$  jest wtedy zawsze większa niż reakcja  $R_A$ .

In the case of steep guys or in the case of large guy sags a difference between the constant angle  $\alpha$  of chord inclination and the angle  $\varphi$  defining the slope of the guy axis (Fig. 2) starts to show up. This difference between the angles  $\alpha$  and  $\varphi$  is the reason that the load  $q(x)$  acting on the guy is non-uniform and a vertical reaction  $R_B$  is then always greater than the reaction of  $R_A$ .



Rys. 2. Zmodyfikowane obciążenie  $q(x)$  działające na odcinek masztu  
 Fig. 2. Modified load  $q(x)$  acting on the mast guy

Zamiast równania cięgna (1), mającego zastosowanie w przypadku  $q = \text{const}$ , należy teraz uwzględnić nieco bardziej złożoną postać tego równania [2,3]

$$S^3 + S^2 EA \left[ 1 - \frac{1}{s_0} (l_s - \alpha_s \Delta T s_0) \right] = \frac{EA \cos \alpha}{2s_0} \int_0^l Q^2 dx, \tag{3}$$

w którym  $Q$  jest równaniem siły tnącej jak dla belki swobodnie podpartej o rozpiętości  $l$  obciążonej obciążeniem  $q(x)$ .

W przypadku odcinka masztu obciążenie  $q(x)$  jest na początku obliczeń nieznaną, ponieważ także nieznaną jest krzywa zwisu odcinka. Tę trudność można jednak łatwo pokonać stosując niżej omówiony sposób postępowania.

- 1) Przyjęcie na początku obliczeń, że obciążenie odcinka jest stałe (Rys. 1).
- 2) Obliczenie siły  $S$  za pomocą przybliżonego równania (1).
- 3) Określenie krzywej zwisu odcinka na podstawie równania (2).
- 4) Obliczenie poprawionego obciążenia odcinka na podstawie wyznaczonej krzywej zwisu odcinka.
- 5) Wyznaczenie siły  $S$  z równania (3) za pomocą całkowania numerycznego.

Powyższy tok postępowania można by kontynuować aż do uzyskania pożądanej dokładności rozwiązania, ale do celów praktycznych wystarczają dwie iteracje:

- a) rozwiązanie przybliżone odcinka i wyznaczenie krzywej zwisu odcinka,
- b) korekta obciążenia odcinka na podstawie tej krzywej i rozwiązanie równania (3).

#### 4. Rozwiązanie według krzywej łańcuchowej

Idealnie wiotkie, swobodnie zwisające cięgno przyjmuje, jak wiadomo, kształt krzywej łańcuchowej. Cięgno takie, w zależności od położenia punktów zamocowania, może mieć różną postać, przy czym w przypadku odcinka masztu typową postać przedstawiono na Rys. 3. Równanie krzywej łańcuchowej ma w układzie współrzędnych  $x, y$ , związanym z najniższym punktem krzywej, znaną postać

$$y = k \left[ \cosh \left( \frac{x}{k} \right) - 1 \right], \tag{4}$$

Instead of the cable equation (1), which one can use in the case of  $q = \text{const}$ , it is now necessary to apply a more complex form of this equation [2,3]

wherein  $Q$  is the shearing force equation as for a simply supported beam of span  $l$  and subjected to load  $q(x)$

In the case of guy mast the load  $q(x)$  at the beginning of the calculation is unknown, because the guy curve is also unknown. However this difficulty can be easily overcome using the procedure discussed below.

- 1) Assumption at the beginning of calculation, that the guy load is constant (Fig. 1)
- 2) Calculation of  $S$  force from approximate equation (1).
- 3) Determination of the guy curve from equation (2)
- 4) Calculation of revised guy load based on the determined guy curve.
- 5) Determination of the  $S$  force from equation (3) using numerical integration.

This procedure may be continued until the desired accuracy of the solution is reached, but for practical purposes two iterations are sufficient:

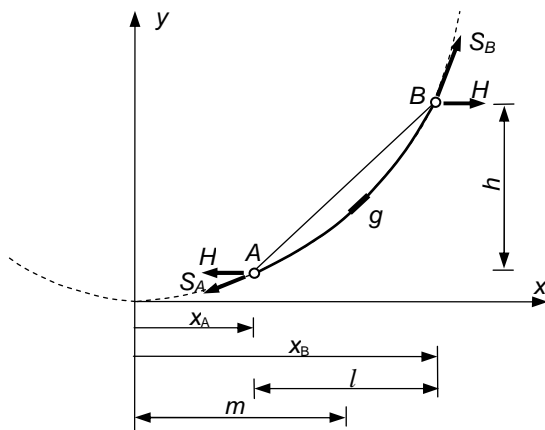
- a) approximate solution of guy and determination of guy curve equation,
- b) correction of the guy load based on this curve and solution of equation (3).

#### 4. The solution of the catenary curve

Ideally flexible, freely dangling cable takes, as it is known, the shape of the catenary curve. Such cable, depending on the position of attachment points, may have a different form, wherein the guy mast has a conventional shape shown in Fig. 3. The equation of catenary curve, in a coordinate system  $x, y$  related to the lowest point of the curve, has a known form

gdzie  $k = H/g$  [m] jest parametrem krzywej łańcuchowej.

where  $k = H/g$  [m] is a parameter of a catenary curve.



Rys. 3. Odciąg masztu jako krzywa łańcuchowa  
Fig. 3. Mast guy as a catenary curve

W celu wyznaczenia poziomych współrzędnych  $x_A$  i  $x_B$  potrzebna jest znajomość położenia wierzchołka krzywej łańcuchowej, tj. wartości  $m$  określającej przesunięcie (mimośród) między początkiem układu współrzędnych a połową rozpiętości cięgna w rzucie poziomym (Rys. 3). Wartość tego przesunięcia  $m$  oraz długość cięgna  $s$  można wyznaczyć z równań [1]

In order to determine the horizontal coordinates  $x_A$  and  $x_B$  it is necessary to know the position of the vertex of the catenary curve, ie the value of  $m$  defining the shift (eccentricity) between the beginning of the coordinate system and the middle span of  $l$  (Fig. 3). The value  $m$  of this shift and the length of the catenary curve  $s$  can be calculated from equations [1]

$$\sinh\left(\frac{m}{k}\right) = \frac{h}{2k \sinh(l/2k)}, \tag{5a}$$

$$s = k(\sinh(x_B/k) - \sinh(x_A/k)). \tag{5b}$$

Pomiędzy długością końcową cięgna  $s$  a jego długością początkową  $s_0$  zachodzi związek (równanie cięgna)

Between the guy final length  $s$  and its length  $s_0$  in initial condition is a relationship (cable equation)

$$s = s_0 + \Delta l_s, \tag{6}$$

gdzie [2]

where [2]

$$\Delta l_s = \frac{H}{EA} \int_{x_A}^{x_B} (1 + y'^2) dx = \frac{H}{EA} \int_{x_A}^{x_B} (1 + \sinh^2(x/k)) dx. \tag{7}$$

5. Uwagi końcowe

5. Final remarks

Równania odciągu (1) i (3) zostały w pracy zweryfikowane za pomocą ścisłego rozwiązania wg krzywej łańcuchowej. Na tej podstawie można wyciągnąć pewne wnioski praktyczne.

Guy equations (1) and (3) have been verified using an exact catenary curve equation. On this basis one can draw some practical conclusions.

- 1) Przybliżone równanie (1) może mieć praktyczne zastosowanie w przypadku gdy kąt nachylenia cięciwy odciągu do poziomu nie jest zbyt duży ( $\alpha \leq 60^\circ$ ), a ponadto odciąg nie ma dużego zwisu ( $f/l_s \leq 0,05$ ).
- 2) W pozostałych przypadkach można wykorzystywać równanie (3), za którego pomocą otrzymuje się rozwiązanie praktycznie dokładne.

- 1) The approximate equation (1) may have practical application in the case when the angle of inclination of the guy chord is not too big ( $\alpha \leq 60^\circ$ ) and furthermore the guy does not have a large sag ( $f/l_s \leq 0,05$ ).
- 2) In other cases one can use the equation (3) which gives practically the exact solution.

Literatura • References

[1] Mendera Z., Szojda L., Wandzik G., (2012), *Stalowe konstrukcje wsporcze napowietrznych linii wysokiego napięcia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

[2] Pałkowski Sz., (1994), *Konstrukcje cięgnowe*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne WNT, Warszawa.

[3] Pałkowski Sz., (2009), *Konstrukcje stalowe. Wybrane zagadnienia obliczania i projektowania*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.