



Justyna DYPA¹
Lubomír BEŇA²

METODA WEKTOROWA DO ROZWIĄZYWANIA MECHANIKI LINII NAPOWIETRZNYCH

Przewody odgrywają znaczącą rolę w systemie elektroenergetycznym, należy więc zadbać, aby nie ulegały awarii, charakteryzowały się trwałością i należycie pełniły swoją funkcję. Badanie wytrzymałości linii napowietrznych opiera się na obliczeniach mechanicznych. Dotychczas stosowano dwa rozwiązania analizujące parametry mechaniczne oraz położenie przewodu. Niestety powszechne metody charakteryzują cięgną jedynie w jednej płaszczyźnie. Dlatego niniejsza praca przedstawia inne rozwiązanie, w postaci metody wektorowej. Wspomniane podejście opiera się na określeniu odpowiednich wielkości wektorowych charakteryzujących przewód w postaci sił naciągu, obciążeń, położenia przęsła. Metoda wektorowa pozwala na określenie dokładnego położenia przewodu w przestrzeni podczas oddziaływania obciążeń w postaci oblodzenia o dowolnej grubości i charakterze oraz wiatru z dowolną prędkością i różnych kierunkach.

Słowa kluczowe: krzywa łańcuchowa, naprężenie mechaniczne, przewód

¹ Justyna Dypa, Politechnika Rzeszowska, absolwentka studiów I stopnia WEiI PRz, justyna-dyp@gmail.com.

² Autor do korespondencji: Lubomír Beňa, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, 17 865 1773, lbena@prz.edu.pl.

1. Wprowadzenie

Aktualnie najbardziej rozpowszechnionymi sposobami rozwiązywania mechaniki przewodów są dwie metody. Jedną z nich jest metoda krzywej łańcuchowej, związana z funkcjami hiperbolicznymi. Druga opcja zaś opiera się na aproksymacji wspomnianej krzywej parabolą stopnia drugiego, opisującą kształt ciężna z dostateczną dokładnością w części przypadków [3]. Oba podejścia uwzględniają położenie przewodu jedynie w płaszczyźnie x, y , co niedostatecznie określa jego stan. Metoda wektorowa umożliwia przedstawienie ciężna w przestrzeni trójwymiarowej. Dzięki zastosowaniu tego sposobu do obliczania parametrów mechanicznych mamy dowolność w charakteryzowaniu obciążeń w postaci oblodzenia oraz wiatru, biorąc pod uwagę ciężar lodowo-śnieżnej warstwy, wartość prędkości wiatru oraz jego kierunek.

Metoda wektorowa jest najbardziej uniwersalną metodą uwzględniającą wszystkie niedogodności w postaci kombinacji wspomnianych obciążeń, pochyłości przęsła oraz jego znacznej rozpiętości.

2. Równanie wektorowe elementu stacjonarnego przewodu

Stan równowagi ciężna wiąże się z warunkiem równowagi sił. Zatem zapisuje się, że suma wszystkich sił działających na elementarną długość przewodu musi być równa zeru. W przypadku przewodu zawieszzonego między konstrukcjami wsporczymi suma wektorów: siły wypadkowej sił naciągu, siły ciężkości przewodu wynikającej z ciężaru własnego i oblodzenia oraz siły wiatru muszą się wzajemnie znosić.

Ogólny warunek opisujący zaistniałą powinność ma postać:

$$\Delta \mathbf{F} + \Delta \mathbf{g} + \Delta \mathbf{r}_w = 0 \quad (1)$$

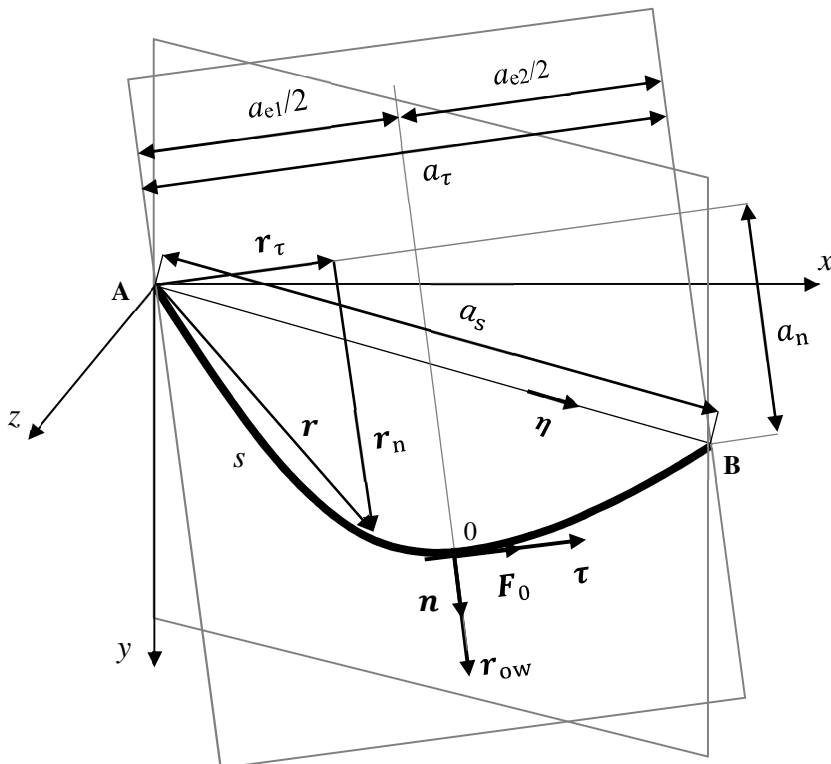
gdzie: $\Delta \mathbf{F}$ – elementarna siła naciągu,

$\Delta \mathbf{g}$ – wektor ciężkości elementu przewodu,

$\Delta \mathbf{r}_w$ – wektor siły działającego wiatru na elementarną długość przewodu.

Uniezależniając oddziaływanie oblodzenia oraz wiatru od czasu, zakładamy ich stałość. Ponadto analizę dokonujemy dla przewodu o dużym promieniu krzywizny, co dopuszcza scharakteryzowanie stałego wektora $\boldsymbol{\eta}$, którego kierunek przebiega od jednego punktu końcowego przęsła do drugiego [1].

Zestaw równań elementu stacjonarnego przewodu określa położenie przestrzenne oraz siłę naciągu ciężna (rys. 1.).



Rys. 1. Położenie przewodu w układzie trójwymiarowym [1]: a_{e1}/a_{e2} – wielkość reprezentująca mały/duży zakres rozpiętości przęsła, a_s – rozmiar przęsła pochyłego, τ – wektor jednostkowy wskazujący kierunek siły na wierzchołku krzywej ugięcia, n – wektor jednostkowy obciążenia sumarycznego przewodu, a_{τ} – rzut a_s na kierunek wektora τ , a_n – rzut a_s na kierunek wektora n , r_{τ} – rzut r na kierunek wektora τ , r_n – rzut r na kierunek wektora n , r_{ow} – wektor obciążenia sumarycznego przewodu, η – wektor jednostkowy wskazujący kierunek zamocowania przewodu

Fig. 1. Position of conductor in three-dimensional space [1]: a_{e1}/a_{e2} – representation of a small/large range of the span, a_s – length of non-level span, τ – unit vector of the lowest point of span, n – unit vector of load caused by the ice and the wind, a_{τ} – vector projection of a_s on vector τ , a_n – vector projection of a_s on vector n , r_{τ} – vector projection of r on vector τ , r_n – vector projection of r on vector n , r_{ow} – vector of resultant functioning to the conductor, η – unit vector of direction of the span

$$\frac{\partial F}{\partial s} + (q_1 + q_2) + q_h \cdot G_c \cdot C_c \cdot (d + 2 \cdot t) \cdot |\eta \times s_w| \cdot s_w = 0 \quad (2)$$

$$F = F \cdot \frac{\partial r}{\partial s} \quad (3)$$

gdzie: F – wektor siły naciągu,

q_1 – ciężar jednostkowy przewodu,

q_2 – ciężar jednostkowy oblodzenia,

q_h – ciśnienie prędkości wiatru,

- G_c – współczynnik przęśła,
 C_c – współczynnik oporu aerodynamicznego przewodu,
 d – średnica przewodu,
 t – grubość oblodzenia,
 $\boldsymbol{\eta}$ – wektor jednostkowy kierunku przęśła,
 \boldsymbol{s}_w – wektor jednostkowy kierunku wiatru,
 \boldsymbol{r} – wektor położenia przewodu,
 s – długość rozpatrywanego odcinka przewodu.

Rozwiązując układ równań w postaci (2), (3) otrzymujemy wektor położenia przewodu oraz siłę naciągu w zależności od długości ciągu s :

$$\boldsymbol{r} = \left[\frac{a_{e1}}{2} + \frac{F_0}{r_{ow}} \cdot \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_{ow}}{F_0} \cdot s - \sinh \frac{r_{ow} \cdot a_{e1}}{2 \cdot F_0} \right) \right] \cdot \boldsymbol{\tau} + \quad (4)$$

$$+ \frac{F_0}{r_{ow}} \cdot \left(\cosh \frac{r_{ow} \cdot a_{e1}}{2 \cdot F_0} - \sqrt{1 + \left(\frac{r_{ow}}{F_0} \cdot s - \sinh \frac{r_{ow} \cdot a_{e1}}{2 \cdot F_0} \right)^2} \right) \cdot \boldsymbol{n}$$

$$\boldsymbol{F} = F_0 \cdot \boldsymbol{\tau} - r_{ow} \cdot \left(s - \frac{F_0}{r_{ow}} \cdot \sinh \frac{r_{ow} \cdot a_{e1}}{2 \cdot F_0} \right) \cdot \boldsymbol{n} \quad (5)$$

gdzie: a_{e1} – zastępcza długość przęśła,

F_0 – wartość siły na wierzchołku krzywej łańcuchowej,

r_{ow} – obciążenie przewodu spowodowane oblodzeniem oraz wiatrem,

$\boldsymbol{\tau}$ – wektor jednostkowy wskazujący kierunek siły na wierzchołku krzywej łańcuchowej,

\boldsymbol{n} – wektor jednostkowy obciążenia sumarycznego przewodu.

3. Równanie wektorowe stanu przewodu

Ukazane równanie stanu pojedynczego przewodu w przęśle [1] określa związki pomiędzy naprężeniem mechanicznym (σ_H), długością ciągu, związaną ze zmianami temperatury (ϑ), obciążeniem (z), wynikającym ze zmiennych warunków atmosferycznych, wywołanym oblodzeniem i/lub wiatrem.

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \sin(\angle(\boldsymbol{\eta}, \boldsymbol{n}_1)) \cdot \left[A \cdot \left(\frac{a_s \cdot z_0}{\sigma_{H0}} \right)^2 \cdot \sin^4(\angle(\boldsymbol{\eta}, \boldsymbol{n}_0)) + \quad (6)$$

$$+ B \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) - \frac{\sigma_{H0}}{\sin(\angle(\boldsymbol{\eta}, \boldsymbol{n}_0))} \right] = A \cdot (a_s \cdot z_1)^2 \cdot \sin^5(\angle(\boldsymbol{\eta}, \boldsymbol{n}_1))$$

Stałe A oraz B uwzględniają właściwości mechaniczne przewodu (sprężystość, rozszerzalność termiczną) i są wyrażane zależnościami: $A = \frac{\gamma^2 \cdot E}{24}$, $B = \alpha \cdot E$. Zaś odpowiednie indeksy oznaczają stan znany, początkowy (0) bądź

stan poszukiwany (1). Pierwotnie zakłada się, że przewód znajduje się w temperaturze $\vartheta_0 = -5^\circ\text{C}$ obciążony oblodzeniem w danej strefie [1].

4. Zastosowanie praktyczne

Metoda wektorowa została zastosowana do określenia poszczególnych parametrów mechanicznych dla przewodu AFL-6 240 mm² w przęśle o rozpiętości 300 m. Dokonano analizy wpływu grubości oblodzenia, prędkości wiatru oraz jego kierunku na przeciążenie (z_{ow}), naprężenie mechaniczne (σ) oraz położenie przewodu (r).

Kierunek wiatru określono za pomocą dwóch kątów: φ , ukazujący odchylenie w płaszczyźnie poziomej od osi x oraz ψ_w – kąt pomiędzy kierunkiem wiatru a jego rzutem na płaszczyznę poziomą, znajdujący się w płaszczyźnie pionowej.

Wartość przeciążenia przewodu charakteryzowana jest jako stosunek obciążenia, wywołanego oblodzeniem oraz wiatrem, i ciężaru jednostkowego ciężna, obliczana według wzoru:

$$z_{ow} = \frac{r_{ow}}{q_1} = \frac{|(q_1 + q_2) + q_h \cdot G_c \cdot C_c \cdot (d + 2 \cdot t) \cdot |\eta \times s_w| \cdot s_w|}{q_1} \quad (7)$$

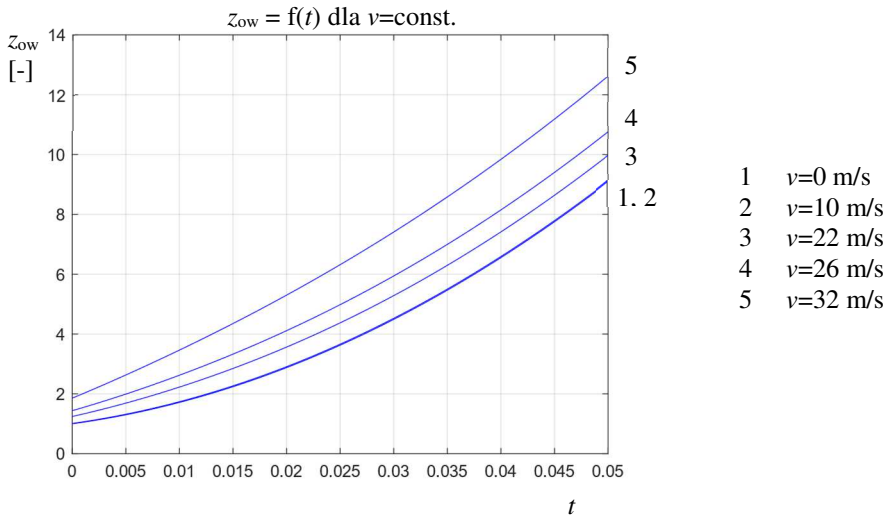
gdzie: q_1 – wartość ciężaru jednostkowego przewodu.

Wpływ grubości oblodzenia

Oblodzenie jest istotnym czynnikiem wpływającym na kształtowanie się parametrów przewodu. W pierwszej części zostały ukazane zmiany w przeciążeniu (z_{ow}) oraz naprężeniu mechanicznym (σ_{H1}) w przypadku zwiększania grubości warstwy lodu dla różnych wartości prędkości wiatru. Oddziałujący wiatr skierowany jest prostopadłe do osi przewodu ($\varphi = 90^\circ$, $\psi_w = 0^\circ$). Charakteryzując obciążenia zakłada się, że oblodzenie pokrywa całą długość ciężna warstwą lodu o grubości t , zaś wiatr równomiernie obciąża przewód.

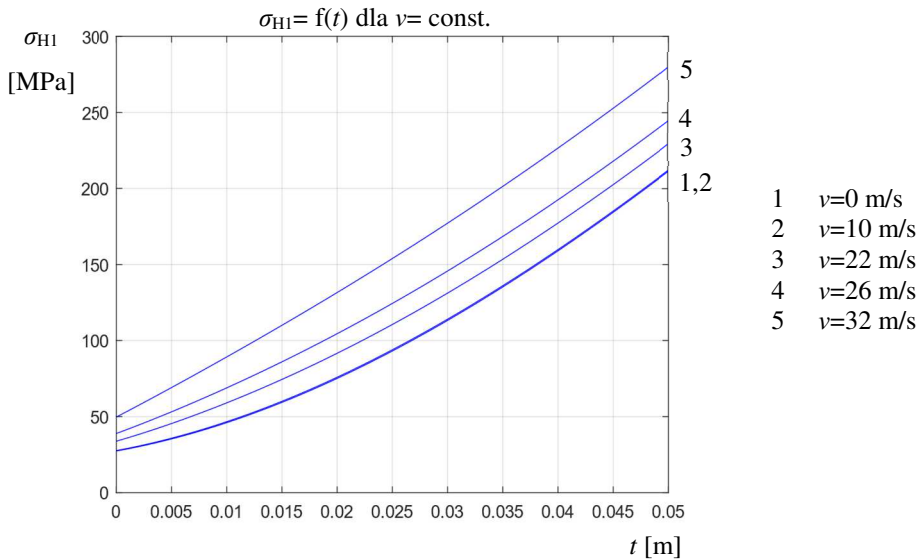
Obserwacja zachodzących zmian w przewodzie jest bardzo istotna w celu prawidłowego projektowania elektroenergetycznych linii napowietrznych. Rozważania rozpoczęto od wpływu oddziaływania oblodzenia. Rysunek 2. przedstawia, jakie zmiany zachodzą podczas zwiększania grubości oblodzenia dla podstawowego parametru przewodu, jakim jest przeciążenie, dla różnych prędkości wiatru. Widoczne jest, że nagromadzanie śnieżno-lodowej warstwy powoduje wzrost przeciążenia przewodu, wywołanego oblodzeniem oraz wiatrem, obliczanego ze wzoru (7). Takie samo zjawisko zaistniało w przypadku analizy naprężenia mechanicznego zobrazowanego na charakterystyce $\sigma_{H1} = f(t)$ (rys. 3.). Przedstawione wykresy na obu rysunkach przyjmują podobne kształty. Warto także zwrócić uwagę na krzywe dla dwóch wartości prędkości wiatru: $v = 0$ m/s

oraz $v=10$ m/s. Podane funkcje znajdują się bardzo blisko siebie, praktycznie pokrywając się. Wpływ prędkości został omówiony poniżej.



Rys. 2. Zależność przeciążenia przewodu od grubości oblodzenia

Fig. 2. Effect of ice thickness on line conductor overloading

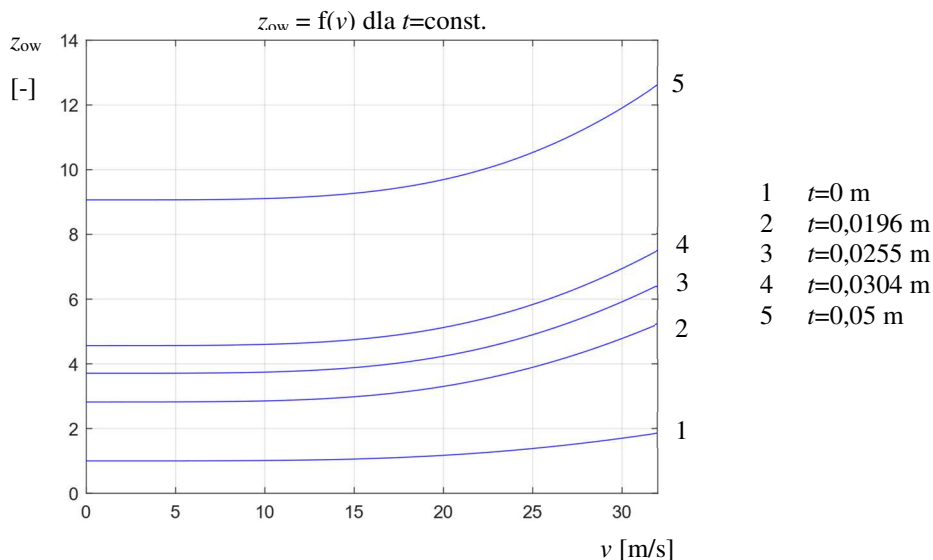


Rys. 3. Naprężenie mechaniczne przewodu w zależności od grubości oblodzenia

Fig. 3. Effect of ice thickness on mechanical stress in line conductor

Wpływ prędkości wiatru

W owym podrozdziale skupiono się na scharakteryzowaniu oddziaływania jakim jest wiatr. Rysunki 4. oraz 5. ukazują wpływ zmiany prędkości wiatru, przy zachowaniu prostokątności jego działania. Parametry mechaniczne przewodu, w postaci przeciążenia oraz naprężenia mechanicznego, przedstawiono dla różnych grubości oblodzenia.

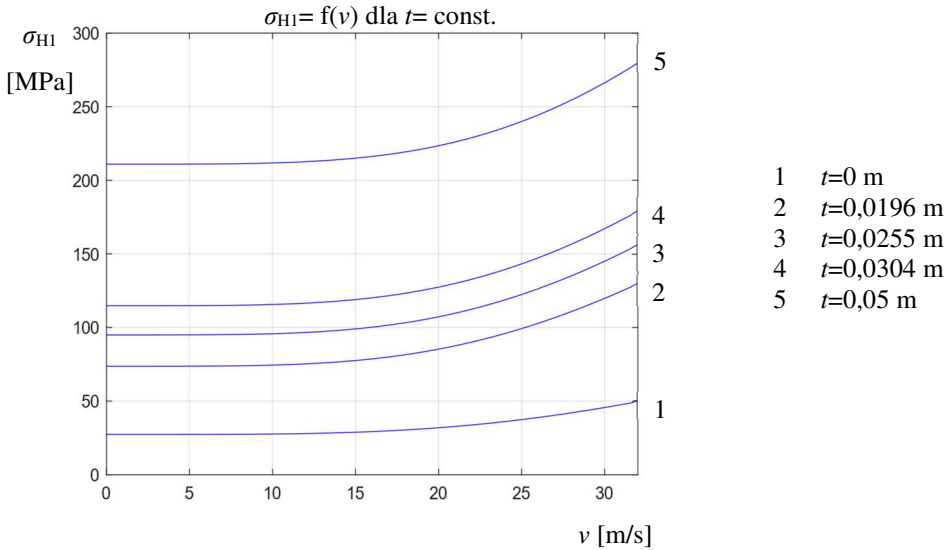


Rys. 4. Przeciążenie przewodu w zależności od prędkości wiatru

Fig. 4. Effect of wind load on line conductor overloading

W tej części artykułu zaprezentowano wpływ prędkości wiatru na przewód nieoblodzony ($t=0$ m) oraz z warstwą oblodzenia ($t > 0$). Krzywe dla przeciążenia oraz naprężenia mechanicznego przyjmują podobne postacie. W poprzedniej części po krótko zwrócono uwagę na wpływ prędkości na parametry mechaniczne. Wspomniano o dwóch krzywych (1, 2 na rys. 2. oraz 3.). Teraz zostanie wyjaśnione, dlaczego owe charakterystyki praktycznie pokrywają się. Przedstawione wykresy na rysunkach 4. oraz 5. ukazują pewną własność. Analizując zmienność obu parametrów można zauważyć, że niezależnie od obciążenia spowodowanego oblodzeniem, wartość przeciążenia przewodu lub naprężenia mechanicznego zmienia się nieznacznie w pewnym zakresie prędkości. Mianowicie, dla wartości od 0 do 16 m/s wielkości wspomnianych parametrów charakteryzują się minimalnymi zmianami. Nasuwa się więc bardzo ważny wniosek, że graniczną prędkością, po przekroczeniu której wiatr w znacznym stopniu oddziałuje na linie,

jest 16 m/s. Powyżej tej wielkości przeciążenie przewodu, a więc i naprężenie mechaniczne bardzo szybko wzrastają.

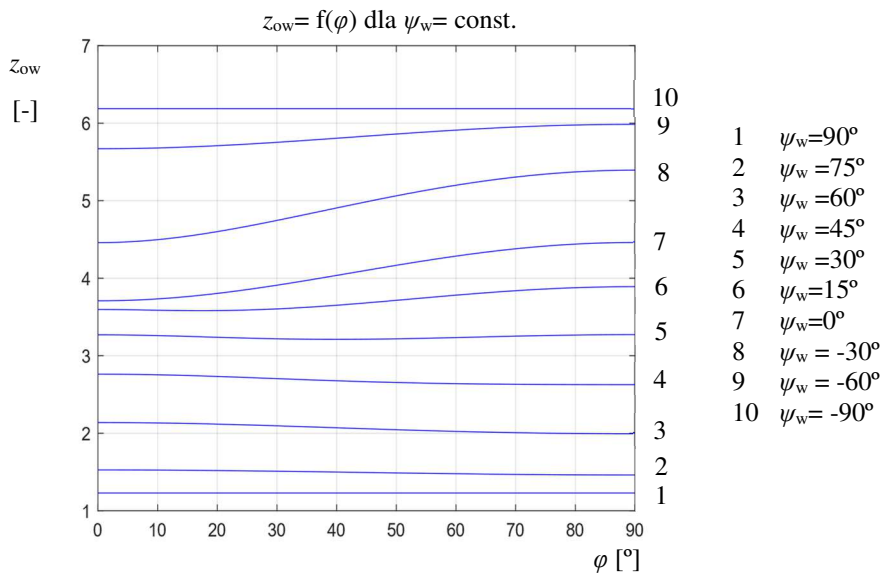


Rys. 5. Naprężenie mechaniczne przewodu w zależności od prędkości wiatru
Fig. 5. Effect of wind load on mechanical stress in line conductor

Wpływ kierunku wiatru

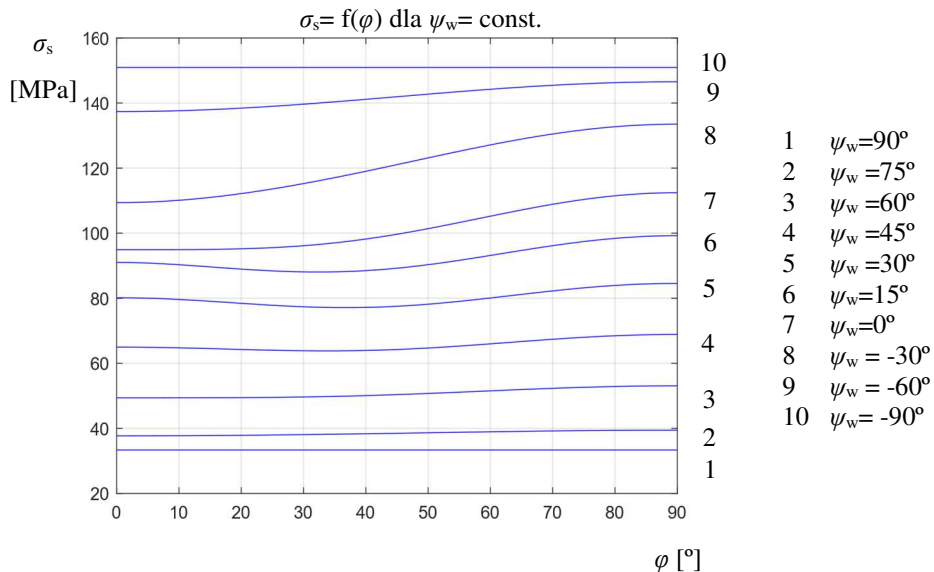
Oddziaływanie wiatru charakteryzowane jest nie tylko poprzez jego prędkość, lecz także biorąc pod uwagę kierunek jego działania. Jak wspomniano na wstępie kierunek wiatru określany jest za pomocą dwóch kątów: φ oraz ψ_w . Poza wartościami owych kątów ważny jest także ich kierunek, rozróżniając w ten sposób wartości dodatnie oraz ujemne. Wartości dodatnie kątów określone są zgodnie ze wskazówkami zegara.

Ocena wpływu kierunku wiatru jest nie mniej ważna od jego prędkości. Rysunek 6. oraz 7. obrazują zmianę przeciążenia oraz naprężenia mechanicznego na środku przewodu w funkcji kąta w płaszczyźnie poziomej (φ) dla różnych wariantów kąta w płaszczyźnie pionowej (ψ_w). Zobrazowano wiatr o ujemnym kącie natarcia, który wznosi się od góry do dołu. Zatem przewód w tym przypadku jest dociążony, a wartości parametrów mechanicznych są większe. Dla działania wiatru w przeciwnym kierunku ($\psi_w > 0$) podane wielkości maleją, wiatr odciąża ciężko działając od dołu do góry. Odchylenie kierunku wiatru od kierunku poziomego zachodzi podczas występowania różnych przeszkód w obrębie linii. Oczywiście wiatr o kątach natarcia $\psi_w = \pm 90^\circ$ nie występuje naturalnie, krzywe widnieją dla lepszego zilustrowania wpływu kierunku wiatru na zmiany zachodzące w przewodzie.



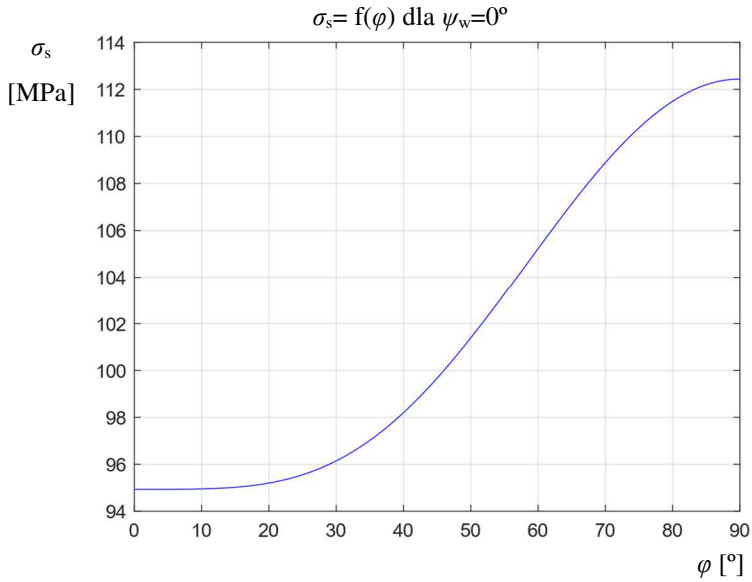
Rys. 6. Przeciążenie przewodu w zależności od kąta wiatru φ

Fig. 6. Effect of wind direction on line conductor overloading



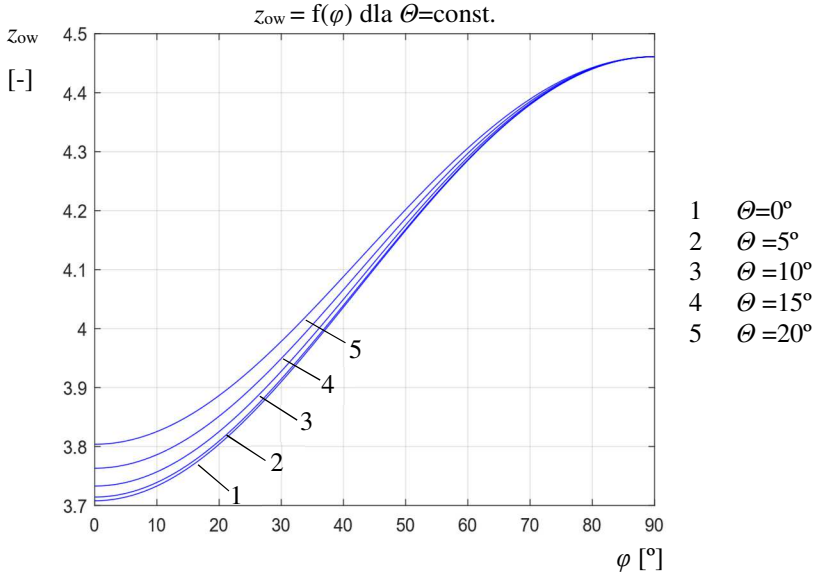
Rys. 7. Naprężenie mechaniczne w zależności od kąta wiatru φ

Fig. 7. Effect of wind direction on mechanical stress in conductor



Rys. 8. Naprężenie mechaniczne w zależności od kąta wiatru φ dla $\psi_w = 0^\circ$, $t = \text{const}$.

Fig. 8. Effect of wind direction on mechanical stress in conductor for $\psi_w = 0^\circ$ and $t = \text{const}$.



Rys. 9. Przeciężenie przewodu w zależności od kąta wiatru φ dla pręśla pochylego

Fig. 9. Effect of wind direction on conductor overloading for inclined span

Kolejno, na rysunku 8. przedstawiono jedną charakterystykę dla uwidocznienia wpływu kierunku wiatru w płaszczyźnie poziomej. Przedstawione naprężenie mechaniczne charakteryzuje się względną stabilnością w zakresie kątów od 0° do 25° . Dla wartości $\varphi > 25^\circ$ drastycznie wzrasta, a dla $\varphi=90^\circ$, oczywiście, jest największe. Ważne jest więc usytuowanie biegnących linii napowietrznych tak, aby kąt pomiędzy przewodami a najczęstszymi wiatrami na danym terenie był jak najmniejszy.

Ostatni element tej części poświęcony jest wpływowi spadku pręśła na przeciążenie przewodu. Zmianę parametru przedstawiono dla pięciu przypadków. Wzrost spadku pręśła, a więc zwiększenie kąta Θ , powoduje wzrost przeciążenia przewodu. Różnice widoczne są dla wiatru oddziałującego wzdłuż ciągu ($\varphi=0^\circ$). Zmiana związana jest z modyfikacją jednostkowego wektora kierunku pręśła η (rys. 9.).

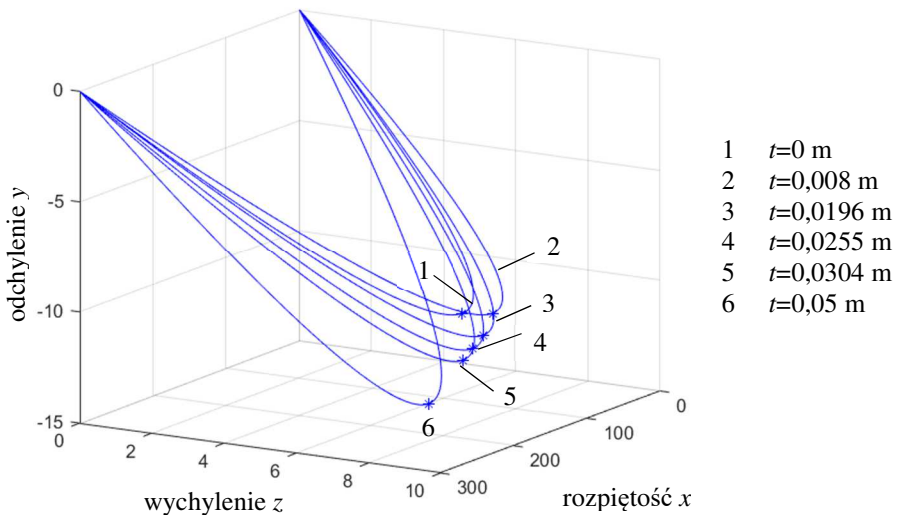
Wpływ oblodzenia i wiatru na położenie przestrzenne przewodu

W poprzedniej części omówiono charakterystyczne parametry ciągu. W tej części skupiono się na przedstawianiu położenia pojedynczego przewodu zawieszzonego między konstrukcjami wsporczymi. Badano kolejno, wpływ grubości oblodzenia z podmuchami wiatru o stałej prędkości i kierunku prostopadłym, znaczenie prędkości wiatru ($\varphi=90^\circ$, $\psi_w=0^\circ$) z niezmienną wartością oblodzenia t oraz działanie wiatru o różnych kierunkach przy jego stałej prędkości oraz stałym oblodzeniu.

Analiza położenia przewodu w pręśle jest ważna i potrzebna ze względu na zwis przewodu, odstępów pomiędzy przewodami oraz innymi elementami linii i obiektami zewnętrznymi. Metoda wektorowa pozwala na dokładną analizę przewodu w trójprzestrzeni z uwzględnieniem kombinacji oddziaływań.

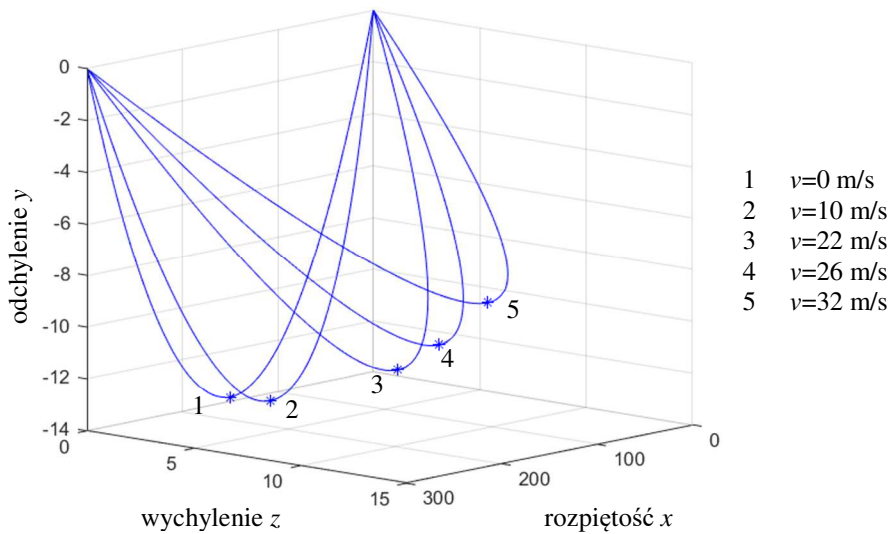
W pierwszym etapie przedstawiono zachowanie ciągu pod wpływem oddziaływania stałej prędkości wiatru o charakterze prostopadłym dla różnych grubości oblodzeń. Krzywe 2-6 na rysunku 10. przedstawiają przewód obciążony lodowo-śnieżną warstwą. Obserwując zauważono, że zwiększenie grubości oblodzenia powoduje mniejsze wychylenie ciągu w osi z oraz y . Na krzywych łańcuchowych zaznaczono również punktami gwiazdkowymi jej wierzchołek (r_0). W każdym przypadku znajduje się on na środku pręśła.

Rysunek 10. ukazuje położenie przewodu dla różnych prędkości wiatru, przy jego prostopadłym działaniu i obciążeniu stałym oblodzeniem. Widoczne jest, że zwiększenie wartości podmuchu wiatru powoduje coraz znaczniejsze wychylenie przewodu z jego położenia w stanie początkowym dla $v=0$ m/s. W tym przypadku także ukazano położenie „punktu zerowego” – r_0 , który dla każdej krzywej znajduje się na środku pręśła.



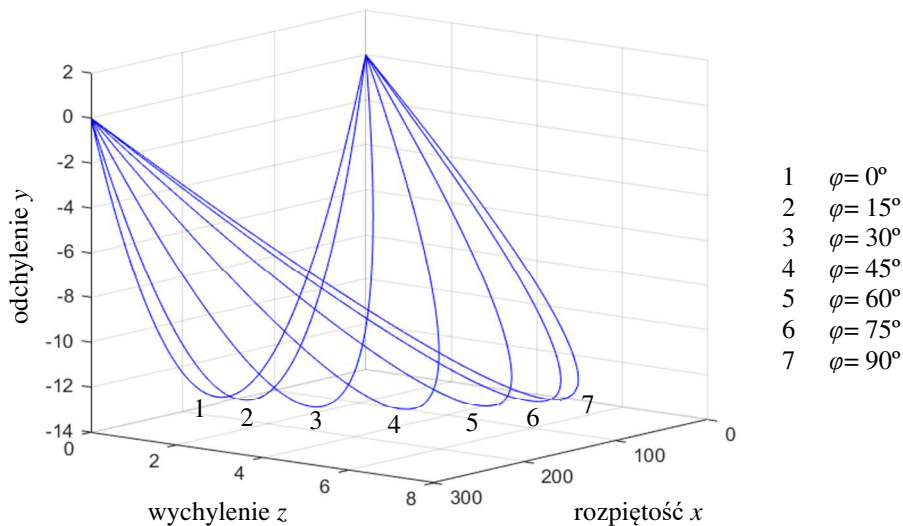
Rys. 10. Położenie przewodu dla różnych grubości oblodzenia i stałej prędkości wiatru

Fig. 10. Location of the conductor under changing ice and constant wind load



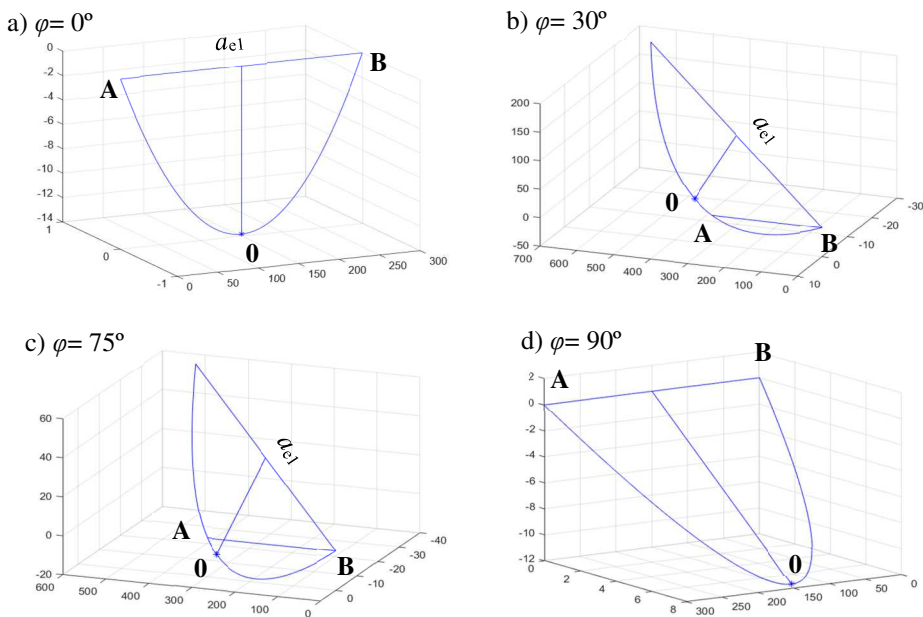
Rys. 11. Położenie przewodu dla różnych prędkości wiatru i stałego oblodzenia

Fig. 11. Location of the conductor under changing wind and constant ice load



Rys. 12. Położenie przewodu dla różnych kierunków wiatru i stałego oblodzenia

Fig. 12. Location of the conductor under changing wind direction and constant ice load



Rys. 13. Położenie wybranych krzywych z rys. 12 oraz ich wierzchołków

Fig. 13. Location of selected curves from fig. 12 with the location of the vertex of the catenary curve

Analizując oddziaływanie wiatru i w tym przypadku zwrócono uwagę na jego kierunek. Rysunek 11. przedstawia położenie przewodu dla różnych kierunków wiatru charakteryzowanych przez kąt φ . Uzupełnieniem przedstawionego rysunku są kolejne wykresy przedstawione w bloku rys. 12. Wyszczególniono cztery przypadki, aby zwrócić uwagę na możliwości położenia wierzchołka krzywej łańcuchowej. Dla podpunktów a) i d) wiatr dmie wzdłuż lub prostopadle do cięgna. W tych okolicznościach punkt r_0 znajduje się w centrum cięgna, jak w poprzednio omawianych sytuacjach. Inaczej dzieje się, gdy kąt wiatru wynosi 30° bądź 75° . Dla tych przypadków wierzchołek krzywej łańcuchowej może znajdować się nawet poza zakresem przęsła (rys. 13 b)) lub w dowolnym miejscu między jego końcami (rys. 13 c)).

5. Podsumowanie

Uniwersalność metody wektorowej stanowi jej największą zaletę. Dzięki zastosowaniu tego rozwiązania możemy dokładnie badać zmiany zachodzące w przęśle dowolnie charakteryzując obciążenia. Precyzyjna analiza jest potrzebna zarówno w przypadku powstawania nowych linii elektroenergetycznych, ale także dla już istniejących.

Na rysunkach przedstawionych w artykule ukazano zmiany najważniejszych parametrów określających stan przewodu w przęśle. Badano wpływ grubości oblodzenia, prędkości wiatru oraz jego kierunku, biorąc pod uwagę dwa charakteryzujące go kąty – jeden w płaszczyźnie pionowej (ψ_w), zaś drugi w płaszczyźnie poziomej (φ). Zobrazowano także wpływ pochyłości przęsła.

Kontrola naprężenia mechanicznego jest kluczowa w projektowaniu linii napowietrznych. Wytrzymałość każdego przewodu jest określana za pomocą siły zrywającej RTS (Rated Tensile Strenght). Określa ona odporność przewodu na rozciąganie. Dlatego przekroczenie jej powoduje zerwanie, a więc zniszczenie przewodu i w konsekwencji problemy z dostarczeniem energii do odbiorców. Obliczenia ukazane w postaci wykresów ukazują zmianę tego parametru w zależności od kombinacji obciążeń. Takie zestawienie uwidacznia, jakie warunki atmosferyczne mogą spowodować uszkodzenia mechaniczne przewodu [4].

Oprócz ukazanych zmian wielkości w postaci przeciążenia oraz naprężenia mechanicznego, metoda wektorowa pozwala na zobrazowanie położenia przewodu w układzie kartezjańskim x , y , z . Lokalizacja cięgna jest kluczowa przy projektowaniu, ze względu na zachowanie minimalnych odstępów izolacyjnych pomiędzy przewodami fazowymi oraz przewodem fazowym i elementem uzziemionym. Zaś określana długość cięgna związana jest z zachowaniem odpowiedniej odległości od powierzchni ziemi, a zatem z kontrolą zwisu przewodu w przęśle [4, 5].

Literatura

- [1] Beňa Ľ.: Riešenie mechaniky kotevného poľa vonkajších prenosových vedení v priestore, Dizertačná práca, KEE FEI TU Košice, 2001.
- [2] Dypa J.: Metoda wektorowa do rozwiązywania mechaniki linii napowietrznych, Praca inżynierska, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, 2020.
- [3] Hudym V., Jagiełło A.: Zasady projektowania i eksploatacji elektroenergetycznych linii napowietrznych, Wydawnictwo PK, Kraków, 2016.
- [4] Mandera Z., Szojda L., Wandzik G.: Projektowanie stalowych słupów linii elektroenergetycznych, PWN, Warszawa 2017.
- [5] Żmuda K.: Elektroenergetyczne układy przesyłowe i rozdzielcze. Wybrane zagadnienia z przykładami, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2014.

VECTOR METHOD SOLVING OF MECHANICS OF OVERHEAD LINES

Summary

Presented method solving of mechanic of overhead lines is the most universal method. Thanks to this method can be presented position of conductor in three-dimensional space in non-level span. Might be investigate the effect of combined overloading caused by ice and wind of optional direction. Using vector method have been presented formulas for equation of state, position of conductor and tension force. In the article were presented results of the utilisation of vector method to calculate mechanical parameters like mechanical stress, overloading and position of conductor in the coordinate system x , y , z . Vector method should be used to solution of overhead line conductor, because actual methods is not sufficient for all cases, for example for sloping spans or large length of spans.

Keywords: catenary curve, mechanical stress, conductor

DOI: 10.7862/re.2022.1

Submitted/Tekst złożono w redakcji: marzec 2021 r.

Accepted / Przyjęto do druku: wrzesień 2022 r.

Published/Tekst opublikowano: grudzień 2022 r.

