

Badania na zginanie słupów oświetleniowych z kompozytów polimerowych wzmocnionych włóknem szklanym



dr inż.
JAROSŁAW MICHAŁEK
Politechnika Wrocławska
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
ORCID: 0000-0002-4242-9054

Celem artykułu jest przybliżenie tematyki słupów kompozytowych polimerowych wzmocnionych włóknem szklanym, a także zaprezentowanie materiałów składowych kompozytu i wybranej technologii produkcji słupów oświetleniowych.

Wstęp

Słupy oświetleniowe z kompozytów polimerowych wzmocnionych włóknem szklanym coraz częściej zastępują słupy wykonane z tradycyjnych materiałów, takich jak stal i beton [1, 2, 3]. Słupy kompozytowe znajdują zastosowanie do oświetlenia ulic oraz dróg, parkingów, otwartych terenów przemysłowych i miejskich, placów, składowisk, skrzyżowań, przejść dla pieszych, przystanków, peronów. Charakteryzują się wieloma zaletami, jak: niska absorpcja energii uderzenia samochodu przynosząca najmniejsze ryzyko odniesienia obrażeń dla kierowcy i pasażerów oraz uszkodzeń dla pojazdu [4, 5], niski ciężar własny, brak przewodzenia elektrycznego, dobra odporność na uszkodzenia mechaniczne i wysoka odporność na sole,

odporność na promienie UV, a także gładka powierzchnia zapobiegająca zabrudzeniom oraz zapewniająca estetyczny wygląd.

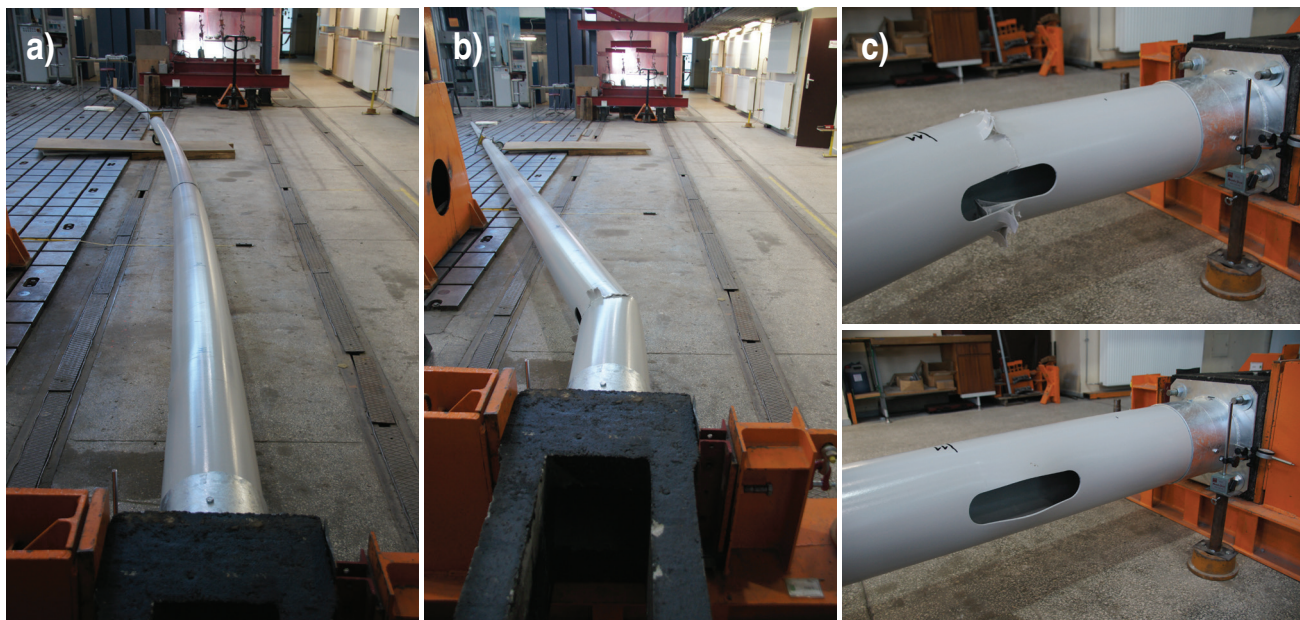
W artykule omówiono wyniki z badań na zginanie słupów oświetleniowych wykonanych z kompozytu polimerowego wzmocnionego włóknem szklanym. Badania zostały zrealizowane w Laboratorium Konstrukcji Budowlanych Katedry Konstrukcji Budowlanych na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej [6].

Parametry badanych słupów kompozytowych

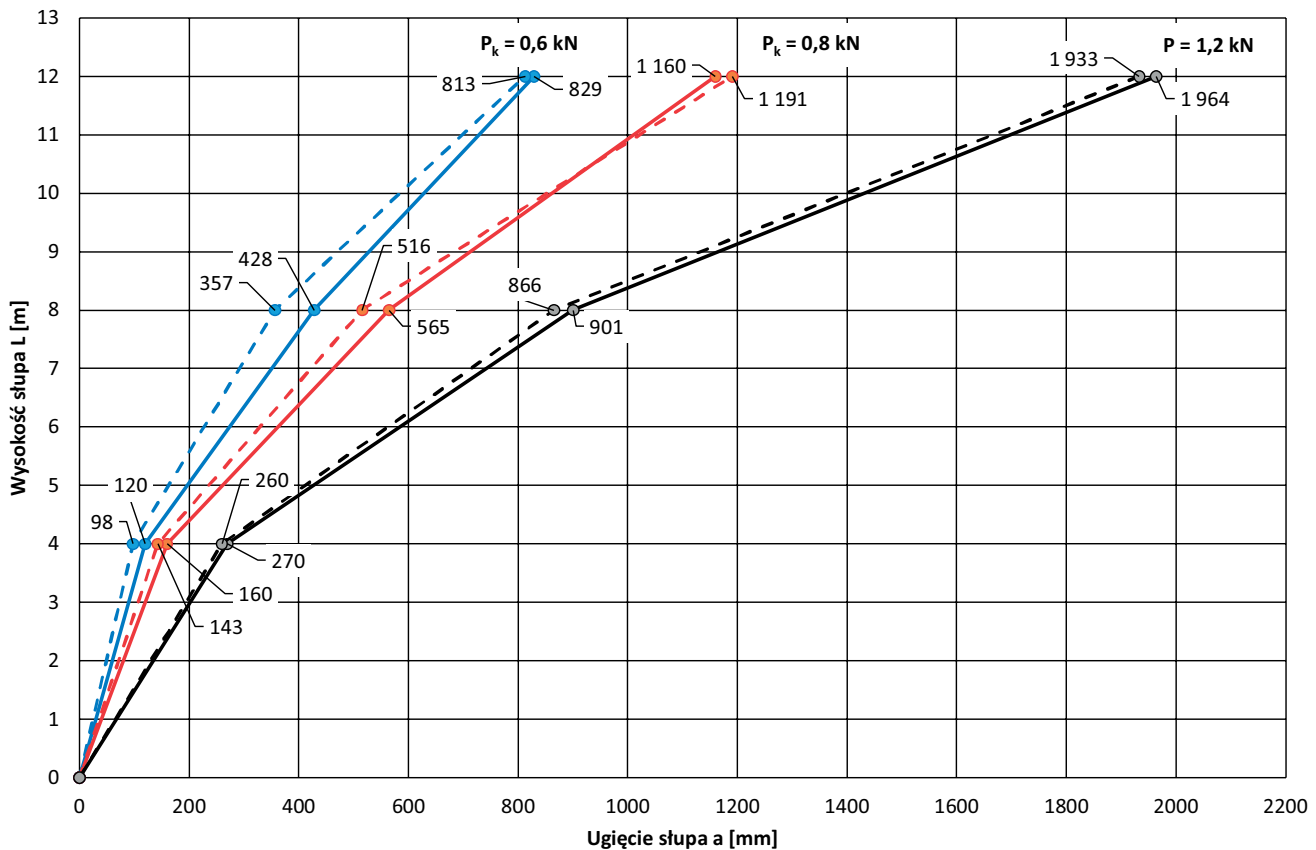
Przedmiotowe słupy wytwarza się z tkaniny zbudowanej z ułożonych jednokierunkowo włókien szklanych ze szkła ECR. Szkło ECR wykazuje podwyższoną, długoterminową od-

porność na działanie kwasów oraz krótkoterminową na działanie związków zasadowych. Włókna ze szkła ECR są utrzymywane w miejscu poprzez przeplatanie poliestrową przędzą termoplastyczną (co zapobiega marszczeniu się lub pofałdowaniu, które może prowadzić do utraty wydajności gotowego laminatu). Dodatkowo tkanina jest wzbogacona ułożonymi wielokierunkowo pociętymi włóknami szklanymi ze szkła ECR.

Tkaninę z włókien szklanych przycina się, dopasowując do wymiarów słupa. W dolnej części słupa stosuje się nawet pięć warstw tkaniny, a w górnej jedną. Poszczególne warstwy są przesunięte względem siebie. Układ warstw tkaniny oraz jej rozkład na wysokości słupa wynikają z obliczeń wytrzymałościowych. Zewnętrzna warstwa stanowi welon poliestrowy.



Fot. 1. Słup kompozytowy na stanowisku badawczym: a) podczas badania, b) w chwili zniszczenia, c) zbliżenie na otwór bezpiecznikowo-złączeniowy – w chwili lokalnej utraty stateczności (fotografia niżej) i w chwili zniszczenia (fotografia powyżej)



Rys. 1. Ugięcia a [mm] słupów kompozytowych podczas zginania siłą P [kN]

Przedmiotowe słupy kompozytowe są wykonywane w technologii wirowania. Do formy stalowej wkłada się przygotowane warstwy welonu poliestrowego i tkaniny z włókna szklanego. W przypadku wielowarstwowego kompozytu poszczególne warstwy układa się w formie dwuetapowo. Do wnętrza formy jest wstrzykiwana porcja nienasyconej żywicy poliestrowej (rozpuszczonej w styrenie, opartej na kwasie ortoftalowym i standardowych glikolach). Żywica rozkłada się na ściankach zewnętrznych w wyniku procesu wirowania. Gdy włókna są właściwie nasączone żywicą, następuje polimeryzacja poprzez podgrzanie formy.

Badaniom wytrzymałościowym poddano dwa słupy kompozytowe o wysokości $L = 12$ m, średnicy zewnętrznej w wierzchołku $t_w = 76$ mm (ścianka o grubości $g_w = 6$ mm) i podstawie $t_p = 278$ mm ($g_p = 8$ mm). Dolne części słupów były zaopatrzone w podstawy stalowe do mocowania do fundamentu betonowego za pomocą śrub (rozstaw otworów montażowych $exf = 300 \times 300$ mm). Słupy miały otwory bezpiecznikowo-złączeniowe 312×75 mm. Oprawy oświetleniowe oraz wsporniki są montowane do słupów kompozytowych za pomocą zewnętrznych tulei wykonanych ze stali ocynkowanej nakładanych na szczyt słupa. Tuleje są produkowane w 4 wariantach umożliwiających montaż wsporników w konfiguracji od 1 do 4 opraw oświetleniowych. Słupy spełniają wymagania ogólne i wymiary normy [7, 8].

Badanie na zginanie

Badanie na zginanie oświetleniowych słupów z kompozytów polimerowych wzmocnionych włóknom szklanym zrealizowano na specjalnym stanowisku badawczym pozwalającym na przeprowadzenie obciążeń próbnych słupów w położeniu poziomym (fot. 1a).

Stanowisko badawcze słupów składa się z dwóch stalowych podpór (uchwytów) zakotwionych w kanałach żelbetowej posadzki hali laboratorium. Uchwyty są rozmieszczone w odległości $b = 1,2$ m i stabilizują fundament betonowy. Trzecią podporę (przesuwną), pozwalającą zredukować wpływ ciężaru własnego na wynik badań, stanowi wózek podpierający słup w odległości około $L/3$ od jego wierzchołka (fot. 1a). Poziomą siłę wierzchołkową P realizowano za pomocą liny przeciągniętej przez bloczek oraz zaczepionej do haka elektrowciągu suwnicy. W linę wmontowano siłomierz tensometryczny o zakresie 20 kN. Obciążenia słupa kompozytowego zrealizowano zgodnie z wytycznymi normy [9].

Podczas realizacji badań na zginanie w wierzchołku słupa przykładano siłę P i mierzono ugięcia poziome wierzchołka słupa stowarzyszone ze zginaniem trzonu słupa oraz wspornika lampy wskutek jednoczesnego oddziaływania wiatru na trzon, wspornik i oprawę oświetleniową. Na rys. 1. przedstawiono wykresy ugięcia a [mm] słupów (linia ciągła pierwszy słup, przerywana – drugi) powstałe przy obciążeniu zastępczą siłą wierz-

chołkową $P_{k,1} = 0,6$ kN występującą podczas eksploatacji słupa ze wspornikiem jednostronnym oraz $P_{k,2} = 0,8$ kN przy eksploatacji słupa ze wspornikiem dwustronnym. Pokazano także ugięcia słupa tuż przed zniszczeniem (kolor czarny).

Ugięcia poziome w miejscu połączenia latarni nie powinny przekraczać wartości granicznych a_{lim} podanych w tablicy 3 normy [10]. Podczas badań słupów ugięcia mierzono w miejscu mocowania wspornika, stąd zmodyfikowano wzór na maksymalne ugięcie poziome $a_{lim} = \beta \cdot (h + w)$ poprzez nieuwzględnienie w nim wysięgu długości wspornika w . Współczynnik β przyjmuje wartości 0,04; 0,06 i 0,10 w zależności od klasy słupa ze względu na ugięcia odpowiednio 1, 2 oraz 3. Uzyskane wartości ugięć wierzchołka słupa przy obciążeniu siłami $P_{k,1} = 0,6$ kN i $P_{k,2} = 0,8$ kN (rys. 1.) odniesiono do klasy 3 według normy [10] dla nominalnej wysokości słupa oświetleniowego 12,0 m. Oba słupy (pierwszy – linia ciągła na rys. 1., drugi – linia przerywana) uległy nagłemu zniszczeniu ze względu na zginanie siłą wierzchołkową $P_n = 1,27$ kN w wyniku zgniecenia ściskanej strefy materiału kompozytowego na wysokości otworu bezpiecznikowo-złączeniowego (fot. 1c).

Zgodnie z normą [9] minimalne obciążenie graniczne osiągnięte w toku badań nie powinno być mniejsze niż obciążenie próbne pomnożone przez współczynnik γ_u . W

analizie przyjęto za minimalne obciążenie próbne odpowiednio siły $P_{k,1} = 0,6$ kN oraz $P_{k,2} = 0,8$ kN dla I strefy wiatrowej do wysokości 300 m n.p.m., bazową prędkość wiatru $v_{b,0} = 22$ m/s i III kategorię terenu. Współczynnik γ_u przyjęto równy współczynnikowi dla obciążenia wiatrem $\gamma_f = 1,4$ (klasa A) lub $\gamma_f = 1,2$ (klasa B) według normy [10]. Zatem minimalne obciążenie graniczne dla słupów kompozytowych w klasie A wyniosło $P_{min,1} = P_{k,1} \cdot \gamma_u = 0,6 \cdot 1,4 = 0,84$ kN i odpowiednio $P_{min,2} = P_{k,2} \cdot \gamma_u = 0,8 \cdot 1,4 = 1,12$ kN. Podczas badania słupy przejęły bezpiecznie ($P_{min,1}$ i $P_{min,2} < P_n = 1,27$ kN) minimalne obciążenia graniczne. Słupy poradziłyby sobie także z minimalnym obciążeniem granicznym (odpowiednio $P_{min,1} = 0,90$ kN i $P_{min,2} = 1,20$ kN) wyliczonym przy założeniu współczynnika dla obciążenia wiatrem $\gamma_f = 1,5$ zgodnie z normą [11].

Wnioski z badań

Według obliczeń teoretycznych maksymalna, charakterystyczna, zastępcza siła wierzchołkowa P_k podczas eksploatacji słupa z kompozytu wzmocnionego włóknem szklanym o wysokości $L = 12,0$ m (I strefa wiatrowa do wysokości 300 m n.p.m., bazowa prędkość wiatru $v_{b,0} = 22$ m/s, III kategoria terenu) ze wspornikiem jednostronnym wynosi $P_{k,1} = 0,61$ kN, a ze wspornikiem dwustronnym $P_{k,2} = 0,77$ kN. Siły te wyliczono dla maksymalnego momentu zginającego w podstawie słupa od oddziaływania wiatru na trzon, wspornik i oprawę oświetleniową oraz od obciążeń stalych (tylko w przypadku wspornika jednostronnego) wywołanych ciężarem wspornika i oprawy oświetleniowej.

Badania oświetleniowych słupów kompozytowych na zginanie z otworem bezpiecznikowo-złączeniowym 312 x 75 mm wykazały, że słupy ze względu na ugięcie można zaliczyć do 3 klasy według normy [10]. Podczas badania na zginanie oświetleniowe słupy kompozytowe przejęły bezpiecznie

minimalne obciążenia graniczne w klasie A ($\gamma_u = \gamma_f = 1,4$) dla eksploatacji słupa ze wspornikiem jednostronnym i dwustronnym. Słupy poradziłyby sobie także z minimalnym obciążeniem granicznym wyliczonym przy założeniu współczynnika dla obciążenia wiatrem $\gamma_f = 1,5$ zgodnie z normą [11].

Bibliografia

- [1] Dimos Polyzois, Sherif Ibrahim, Vladimir Burachynsky, S.K. Hassan, 1999. Glass fiber-reinforced plastic poles for transmission and distribution lines: an experimental investigation, 12th International Conference on Composite Materials (ICCM-12), Paris, France.
- [2] Slimane Metiche, Radhouane Masmoudi, 2007, Full-Scale Flexural Testing on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Poles, The Open Civil Engineering Journal, Vol.1, s. 37-50, DOI:10.2174/1874149500701010037.
- [3] Marek Lechman, 2006, Nośność i wymiarowanie przekrojów pierścieniowych elementów mimośrodowo ściskanych, Prace Naukowe Instytutu Techniki Budowlanej, Seria: Rozprawy, Warszawa.
- [4] Jarosław Michalek, 2019, Use of passive safety supporting structures. XXII International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM 2019): Tashkent, Uzbekistan, April 18-21, 2019/eds. A. Volkov, A. Pustovgar, T. Sultanov and A. Adamtsevich: EDP Sciences, 2019. art. 03018, s. 1-8.
- [5] Jarosław Schabowski, 2020, Korzyści stosowania nowoczesnych technologii kompozytowych w projektowaniu, budowie i utrzymaniu bezpiecznej infrastruktury drogowej, Zeszyty naukowo-techniczne SITK RP Nr 1 (120), Oddział w Krakowie, s. 45-59.
- [6] Jarosław Michalek, 2019, Badania doświadczalne kompozytowych słupów oświetleniowych typu SK1 12 bez otworu i z otworem bezpiecznikowo-złączeniowym, Raport serii U nr 62/2019, Politechnika Wrocławska Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Wrocław.
- [7] PN-EN 40-2:2005 Słupy oświetleniowe. Część 2: Wymagania ogólne i wymiary.
- [8] PN-EN 40-7:2004 Słupy oświetleniowe. Część 7: Słupy oświetleniowe z kompozytów polimerowych wzmocnionych włóknem szklanym. Wymagania.
- [9] PN-EN 40-3-2:2013-06 Słupy oświetleniowe. Część 3-2: Projektowanie i weryfikacja. Weryfikacja za pomocą badań.
- [10] PN-EN 40-3-3:2013-06 Słupy oświetleniowe. Część 3-3: Projektowanie i weryfikacja. Weryfikacja za pomocą obliczeń.
- [11] PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru.

DOI: 10.5604/01.3001.0015.7721

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Michalek Jarosław, 2022, Badania na zginanie słupów oświetleniowych z kompozytów polimerowych wzmocnionych włóknem szklanym, „Builder” 4 (297). DOI: 10.5604/01.3001.0015.7721

Streszczenie: Celem artykułu jest przybliżenie tematyki słupów kompozytowych polimerowych wzmocnionych włóknem szklanym,

a także zaprezentowanie materiałów składowych kompozytu i wybranej technologii produkcji słupów oświetleniowych. Słupy te coraz częściej zastępują słupy wykonane z tradycyjnych materiałów, takich jak stal oraz beton. W artykule przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych kompozytowych słupów oświetleniowych o wysokości $L = 12,0$ m. Podczas badania na zginanie oświetleniowe słupy kompozytowe przejęły bezpiecznie minimalne obciążenia graniczne w klasie A dla eksploatacji słupów ze wspornikiem jednostronnym i dwustronnym. Stwierdzono, że słupy ze względu na ugięcie można zaliczyć do 3 klasy według normy PN-EN 40-3-3:2013-06.

Słowa kluczowe: słup oświetleniowy, kompozyt polimerowy wzmocniony włóknem szklanym, badania doświadczalne

Abstract: BENDING TESTS ON LIGHTING POLES MADE OF GLASS FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITES.

The aim of this paper is to introduce the subject of glass fiber reinforced polymer composite poles, to present the composite component materials and the chosen technology for the production of lighting poles. These poles are increasingly replacing poles made of traditional materials such as steel and concrete. This paper presents the results of strength tests of composite lighting poles with height $L = 12.0$ m. During the bending test, the composite lighting poles safely took the minimum limit loads in class A for the operation of the poles with single-sided and double-sided booms. It was found that the columns due to deflection can be classified as class 3 according to PN-EN 40-3-3:2013-06.

Keywords: lighting pole, glass fiber reinforced polymer composite, experimental test