

Wyznaczanie położenia punktów pomiarowych na podstawie numerycznej analizy konstrukcji

Determination of measuring points position based on the numerical construction analysis

WIESŁAW KOMAR*

Materiały z XX SKWPIE, Jurata 2016 r.
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.147

Artykuł zawiera zwięzły opis postępowania podczas wyznaczania położenia punktów pomiaru rzeczywistych odkształceń konstrukcji wsporczej. W wybranych punktach, określonych na podstawie komputerowej analizy odkształceń, na konstrukcji lub jej modelu doświadczalnym rozmieszczone zostaną czujniki tensometryczne, służące do monitorowania rzeczywistego stanu odkształcenia.

SŁOWA KLUCZOWE: analiza odkształceń, tensometria elektrooporowa

This paper contains a brief procedure description when determining position of the actual strain measurement points of structure. At selected checkpoints, identified on the basis of computer strain analysis, strain gauges used to monitor the actual state of deformation will be placed on the structure or its experimental model.

KEYWORDS: strain analysis, electric resistance strain gauge technique

Monitorowanie stanu naprężenia i odkształcenia konstrukcji należy do podstawowych zadań służb nadzorujących obiekty techniczne, pozwalających na bieżąco oceniać poziom szeroko rozumianego zdegradowania konstrukcji w stosunku do jej stanu początkowego. Pozyskana w ten sposób wiedza o stanie monitorowanego obiektu umożliwia podejmowanie decyzji o jego zdatości do dalszej eksploatacji.

W celu właściwego wskazania punktów pomiarowych przeprowadzono komputerową analizę odkształceń metodą elementów skończonych.

Obiekt badań

Już w [1] poruszono problem doboru rozwiązania konstrukcyjnego autonomicznego punktu oświetleniowego. Wówczas autorzy w swoich rozważaniach odwołali się do istniejących konstrukcji słupów oświetleniowych. Do komputerowej analizy odkształceń przedstawionej w niniejszym artykule również przyjęto, że słup stanowiący element nośny w konstrukcji autonomicznego punktu oświetleniowego, swoim kształtem i wymiarami zbliżony jest do istniejących rozwiązań słupów oświetleniowych. Różnego rodzaju warianty takich słupów znaleźć można np. w [2], [3] lub [4].

Przykład konstrukcji nośnej – słupa na potrzeby wstępnej analizy odkształceń – na podstawie której ustalono rozmieszczenie tensometrycznych punktów pomiaru odkształceń badanej konstrukcji nośnej autonomicznego punktu oświetleniowego zaczerpnięto z [1]. Przyjęto, że konstrukcja nośna będzie mocowana do podłoża śrubami. Zarówno pionowy słup, jak i wysięgnik z oprawą oświetleniową wykonane są ze stali S275JR. Podstawowe własności mechaniczne tej stali, to: $R_e = 275$ MPa, $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa, $\nu = 0,3$, $\rho = 7800$ kg/m³. Słupy najczęściej są wykonane tak, że część pionowa stanowi wycinek ostrosłupa o podstawie sześciokątnej lub ośmiokątnej foremnej albo mają kształt ściętego stożka. Do numerycznej analizy odkształceń przyjęto słup o podstawie ośmiokątnej foremnej i wysokości części pionowej od 6 do 12 m z kwadra-

tową podstawą montowaną czterema śrubami do utwardzonego podłoża. Założono, że zastosowany zostanie wysięgnik rurowy o długości 1,4 m, z oprawą oświetleniową lub innym podobnym elementem wykonawczym lampy. Położenie silnika wiatrowego i generatora energii zostało określone w [1].

Według PN-EN 40-3-2:2013 [5] słupy oświetleniowe można badać zarówno w pozycji pionowej, jak i poziomej.

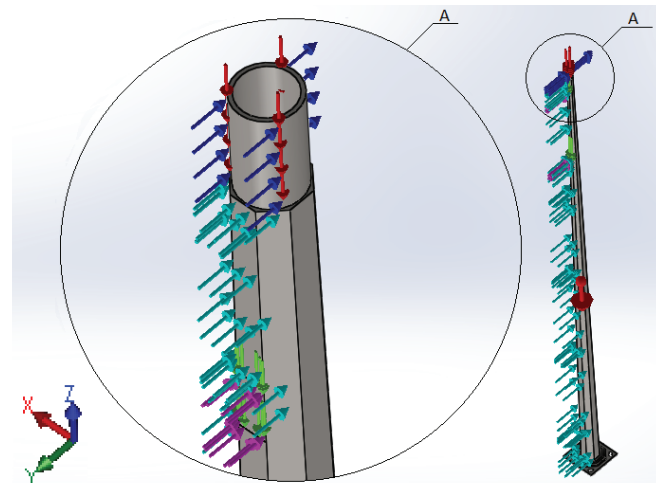
Obciążenia poziome, takie jak siły naporu wiatru i podmuchy przejeżdżających pojazdów odgrywają znaczącą rolę w badaniu. Siły poprzeczne należy tak dobrać, aby w miejscach krytycznych były co najmniej równe wartościom sił występujących w warunkach rzeczywistych. Zgodnie z [5] obciążenia należy zadawać, stosując siłowniki lub balasty z dokładnością do $\pm 2\%$.

Numeryczna analiza odkształceń

Analiza odkształceń autonomicznego punktu oświetleniowego sprowadza się przede wszystkim do badania przemieszczeń poszczególnych punktów konstrukcji nośnej, która będzie ulegać deformacjom pod wpływem ciężaru własnego, obciążeń zewnętrznych, wynikających z naporu wiatru na jej powierzchnię boczną, zmian temperatury otoczenia oraz w zależności od obciążeń pochodzących od różnych elementów umieszczonych na tej konstrukcji, czy to elementów roboczych – oświetleniowych, czy też tych wchodzących w skład układu generującego energię elektryczną.

Korzystając z danych katalogowych dla gotowych elementów, na podstawie informacji zamieszczonych w [3] do obliczeń numerycznych przyjęto następujące obciążenia (rys. 1):

- masa słupa – 104,5 kg (czerwona strzałka),
- siła naporu na turbinę – 218,5 N (różowe strzałki),
- ciśnienie wiatru – 405,8 Pa [5] (jasnoniebieskie strzałki),
- masa turbiny – 30 kg (jasnozielone strzałki),
- obciążenia od wysięgnika lampy (czerwone strzałki):
 - masa lampy – 3,8 kg,



Rys. 1. Schemat obciążeń działających na słup

* Dr inż. Wiesław Komar (komar@uwm.edu.pl) – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych

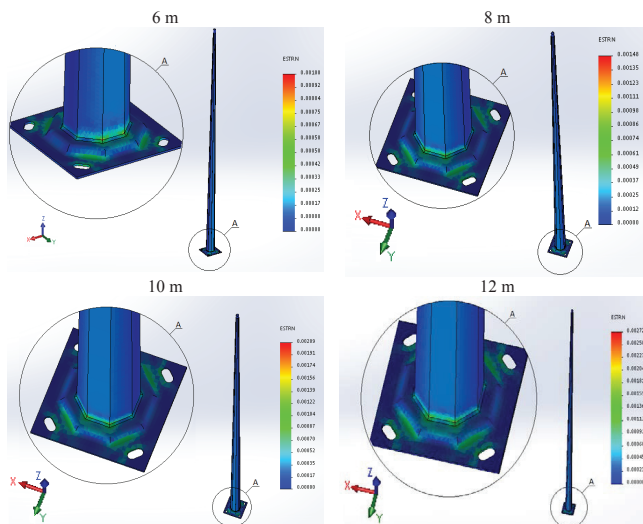
- masa wspornika – 6,44 kg,
- masa panelu fotowoltaicznego – 10 kg,
- dodatkowe obciążenie wysięgnika lampy, m.in.: lód, śnieg – 7 kg,
- napór wiatru na wysięgnik lampy – 120 N (granatowe strzałki).

W celu dyskretyzacji modelu konstrukcji nośnej w programie SolidWorks zastosowano standardową siatkę bryłową o wielkości elementów skończonych $14 \pm 0,7$ mm. W obszarach występowania spiętrzonych naprężeń (drzwiczki i stopa słupa) w celu zwiększenia dokładności obliczeń zwiększono gęstość siatki, tym samym zmniejszając rozmiar elementu skończonego w tej strefie do 4 mm.

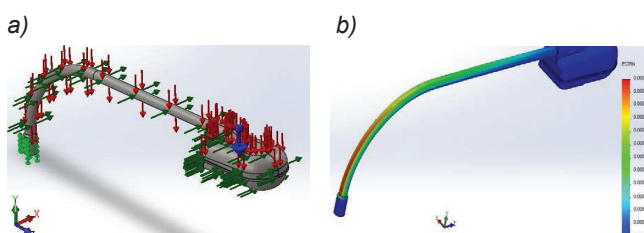
Mocowanie słupa nośnego zrealizowano poprzez odebranie stopni swobody w czterech punktach montażu słupa za pomocą śrub fundamentowych do podłoża.

Interpretacja wyników

Komputerowa analiza odkształceń konstrukcji nośnej słupa wykazała, że największych przemieszczeń doznają punkty słupa na jego wierzchołku. Tym samym największe wartości względnej liniowej zmiany długości zewnętrznych warstw materiału występują u podstawy słupa. Przy podstawie, bez względu na kształt przekroju poprzecznego i wymiary pionowe konstrukcji, występują największe odkształcenia względne i tam należałoby umiejscowić czujniki tensometryczne służące do monitorowania stanu odkształcenia konstrukcji nośnej autonomicznego punktu oświetleniowego. Zestawienie maksymalnych wartości odkształceń w zależności od wysokości słupa nośnego przedstawiono w tabelicy. Wizualizacje wyników odkształcenia słupa w zależności od nominalnej wysokości, uwzględniające całkowite obciążenie konstrukcji, zaprezentowano na rys. 2. Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że rozkład odkształceń w konstrukcji wsporczej



Rys. 2. Stan odkształcenia słupa u podstawy w zależności od wysokości nominalnej



Rys. 3. Analiza odkształcenia wysięgnika z lampą: a) schemat obciążenia wysięgnika, b) wizualizacja wyników analizy

nie zmienia się, gdy zmieniają się jej wymiary gabarytowe. Zmianie ulega jedynie wielkość całkowitego odkształcenia słupa u jego podstawy.

TABLICA. Maksymalne odkształcenia względne słupa w zależności od jego wysokości

Wysokość, m	Odształcenie, %
6	0,10
8	0,15
10	0,21
12	0,27

Analizie symulacyjnej poddano również wpływ obciążenia zewnętrznego wynikającego z naporu wiatru (w kierunku osi X), obciążenia śniegiem oraz dodatkowymi urządzeniami umieszczonymi na wysięgniku i ciężaru własnego samego wysięgnika (czerwone strzałki w kierunku osi Y) oprawy oświetleniowej na odkształcenia górnej części układu. Na rys. 3 przedstawiono schemat obciążenia i podparcia samego wysięgnika oprawy oświetleniowej (rys. 3a) oraz wyniki analizy odkształceń tej części (rys. 3b). Na skutek obciążenia nałożonego na wspornik w mocowaniu wysięgnika na słupie występuje m.in. moment skręcający względem osi Y, $M_y = 141$ Nm i reakcja w kierunku osi X – $F_x = 120$ N. Takie wielkości sugerują występowanie skręcania wspornika oraz znacznego oddziaływania wiatru na ten element.

Poziome odkształcenia wysięgnika spowodowany momentem skręcającym jest jednak na tyle mały, że w rzeczywistości konstrukcji można zaniechać jego monitorowania.

Wnioski

Przeprowadzona analiza komputerowa odkształcenia konstrukcji słupa pokazuje wyraźnie reakcję konstrukcji na złożony stan obciążenia, jakim jest ona poddana w trakcie normalnej eksploatacji. Jest to stosunkowo łatwa metoda precyzyjnego określania położenia kontrolnych punktów pomiarowych konstrukcji.

Na podstawie wyników badania stanu odkształcenia wyznaczono punkty na konstrukcji, w których zamocowane zostaną tensometry elektrooporowe monitorujące poziome odkształceń w docelowej konstrukcji quasi-autonomicznego punktu oświetleniowego. Dobór czujników tensometrycznych zdefiniowany jest przede wszystkim występującym poziomem odkształceń. Ponadto należy uwzględnić dostępność miejsca na konstrukcji nośnej w wyznaczonych punktach pomiarowych, rodzaj podłoża, techniczne możliwości poprowadzenia okablowania punktów pomiarowych i ekspozycję punktów pomiarowych, która szczególnie w warunkach pozalaboratoryjnych określa konieczność właściwego zabezpieczenia punktów pomiarowych przed niekorzystnym oddziaływaniem czynników zewnętrznych na materiał konstrukcji, jak i na czujniki tensometryczne.

* * *

Przedstawione prace wykonano w ramach realizacji projektu badawczego N N502511940 pt. „Modele funkcjonalne i badania quasi-autonomicznego punktu oświetleniowego lub sygnalizacyjnego”.

LITERATURA

1. Omilianowicz P., Miąskowski W., Nalepa K., Pietkiewicz P. „Analiza koncepcyjna umiejscowienia siłowni wiatrowej na istniejących słupach oświetleniowych”. *Mechanik* 88 (2015)7, s. 613-620 (CD).
2. <http://www.rosa.pl>.
3. <http://katalog.onninen.pl/pl/p/slupy-oswietleniowe,4694>.
4. <http://www.valmont.pl/valmont-poland/pl/oswietlenie>.
5. PN-EN 40-3-2:2013. „Słupy oświetleniowe – Część 3-2: Projektowanie i weryfikacja – weryfikacja za pomocą badań”.