

Patryk OMILLANOWICZ

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.277

Dr inż. Wojciech MIĄSKOWSKI

Dr inż. Krzysztof NALEPA

Dr inż. Paweł PIETKIEWICZ

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

ANALIZA KONCEPCYJNA UMIEJSCOWIENIA SIŁOWNI WIATROWEJ NA ISTNIEJĄCYCH SŁUPACH OŚWIETLENIOWYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki analizy koncepcyjnej i inżynierskiej stalowego słupa oświetleniowego, na którym zamontowany został zestaw mikroturbiny wiatrowej z generatorem w różnych konfiguracjach. Prace przedstawione w niniejszym opracowaniu zostały wykonane w ramach projektu pt. „Modele funkcjonalne i badania konstrukcji quasi-autonomicznego punktu oświetleniowego lub sygnalizacyjnego”.

CONCEPTUAL ANALYSIS OF THE WIND POWER PLANT POSITIONING ON EXISTING LAMP POSTS

Abstract: This article presents conceptual and engineering analysis results of the steel lighting column, that the set of wind microturbine with generator was installed on. Works presented in this study were done within the project entitled 'Functional models and research of quasi-autonomous lighting or signalling point construction'.

Słowa kluczowe: turbina wiatrowa, słup oświetleniowy

Keywords: wind-turbine, lamppost

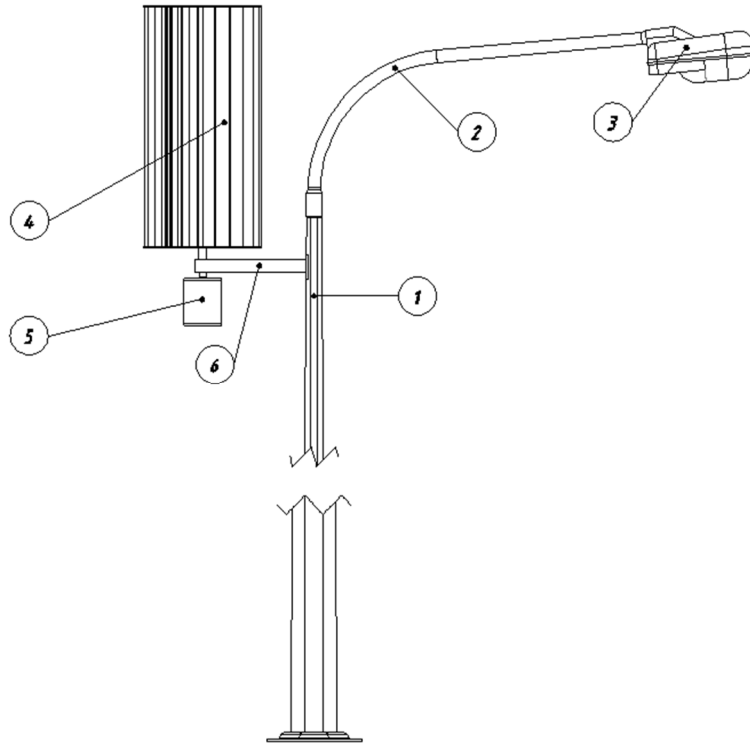
1. WPROWADZENIE

Celem prac opisanych w artykule jest przeprowadzenie analizy koncepcyjnej usytuowania siłowni wiatrowej na istniejących słupach oświetleniowych. Proponowane rozwiązania przedstawiają zastosowanie silnika wiatrowego z osią pionową. Analizę wytrzymałościową stalowych słupów oświetleniowych oraz określenie naprężeń wywołanych zamontowaniem mikroturbiny wiatrowej na niewzmocnionej konstrukcji słupa oświetleniowego prowadzono przy użyciu narzędzi CAD/CAE (SolidWorks – SolidWorks Simulation, SolidWorks Flow Simulation). Treści przedstawione w niniejszym artykule zostały wykonane w ramach projektu nr N N502 511940 pt. *Modele funkcjonalne i badania konstrukcji quasi-autonomicznego punktu oświetleniowego lub sygnalizacyjnego* i są etapem pracy inżynierskiej, której tematem jest wykonanie projektu turbiny wiatrowej przeznaczonej do montowania na istniejących konstrukcjach nośnych lamp oświetleniowych.

W dalszej części pracy przedstawiono wyniki analiz dla kilku wariantów umiejscowienia siłowni wiatrowej, w celu określenia konfiguracji najbardziej korzystnej pod względem naprężeń powstałych w konstrukcji słupa.

1.1. Przedmiot badań

Do analiz wykorzystano słup (1) o przekroju poprzecznym ośmiokątnym i wysokości równej 10 m, wykonany z blachy stalowej gatunku S275JR o grubości 4 mm. Ze słupem sztywno związany jest wysięgnik (2), na końcu którego zamocowana jest oprawa lampy (3). Do konstrukcji przymocowano zespół turbiny wiatrowej (4) i generatora prądu elektrycznego (5). Zależnie od wariantu umiejscowienia siłowni wiatrowej może również występować wspornik (6).



Rys. 1. Rysunek poglądowy słupa oświetleniowego z zespołem turbiny wiatrowej i generatora. 1 – słup oświetleniowy, 2 – wysięgnik, 3 – oprawa lampy, 4 – turbina, 5 – generator, 6 – wspornik

Do wszystkich wariantów umiejscowienia siłowni wiatrowej przyjęto bębnowy silnik wiatrowy z osią pionową. Wybór tej konstrukcji turbiny podyktowany był brakiem potrzeby nastawiania silnika do wiatru, cichobieżnością i stosunkowo dużą elastycznością w umiejscawianiu na istniejących konstrukcjach słupów.

1.2. Siły działające na konstrukcję

Najważniejszym etapem analizy, decydującym o poprawności obliczeń, jest prawidłowe określenie sił, jakie działają na konstrukcję – ich wartości, miejsca przyłożenia oraz kierunków działania. Oprócz obciążenia słupa jego ciężarem własnym oraz ciężarem pochodzącym od zamocowanych elementów, uwzględniono następujące siły:

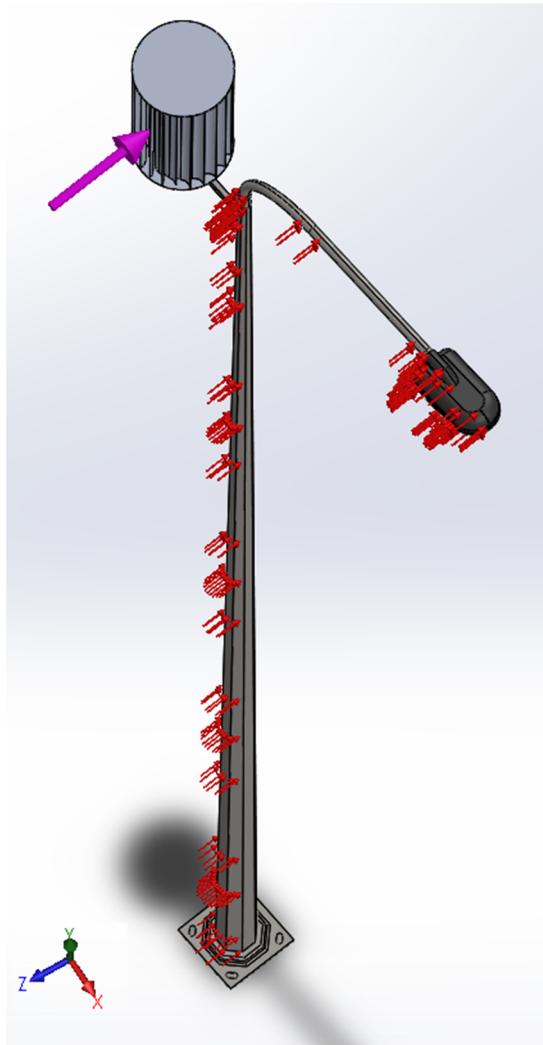
1.2.1. Ciśnienie naporu wiatru

Ciśnienie naporu wiatru zostało wyznaczone zgodnie z normą PN EN 40-3-1:2000 według wzoru:

$$q(z) = \delta * \beta * F * C_{e(z)} * q_{(10)}, \quad (1)$$

gdzie: δ – współczynnik efektu skali, β – współczynnik dynamiczny zależny od okresu drgań własnych konstrukcji, F – współczynnik topograficzny, $C_{e(z)}$ – współczynnik ekspozycji zależny od wysokości z nad poziomem podłoża, $q_{(10)}$ – ciśnienie referencyjne pochodzące od prędkości wiatru.

Referencyjne ciśnienie prędkości wiatru obliczono dla prędkości równej 26 m/s, czyli 10-minutowej średniej prędkości wiatru charakterystycznej dla terenów należących do II strefy obciążenia wiatrem w Polsce. Pozostałe współczynniki przyjęto tak, by odpowiadały one warunkom najczęściej spotykanym na pojezierzu Warmii i Mazur. Wartość ciśnienia nie jest stała, gdyż wzrasta ona wraz z wysokością nad poziomem podłoża (współczynnik $C_{e(z)}$). W analizie statycznej programu SolidWorks siłę naporu wynikającą z ciśnienia przyłożono do powierzchni słupa od strony nawietrznej na kierunku zgodnym z kierunkiem wiatru, przy pomocy narzędzia *niejednorodnego rozkładu ciśnienia*, jak to pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Sposób przyłożenia sił naporu wiatru

1.2.2. Siła naporu wiatru na zestaw turbiny i generatora

Siłę, jaką wywiera napór wiatru na siłownię wiatrową, wyznaczono przy pomocy dodatku Flow Simulation programu SolidWorks. Przy prędkości wiatru równej 26 m/s analiza wykazała następujące wartości sił:

Tablica 1. Siły naporu wiatru na bęben turbiny

Siła na kierunek	Jedn.	Wartość średnia
GG Force (X) 1	[N]	218,5
GG Force (Y) 1	[N]	1,3
GG Force (Z) 1	[N]	-44,9

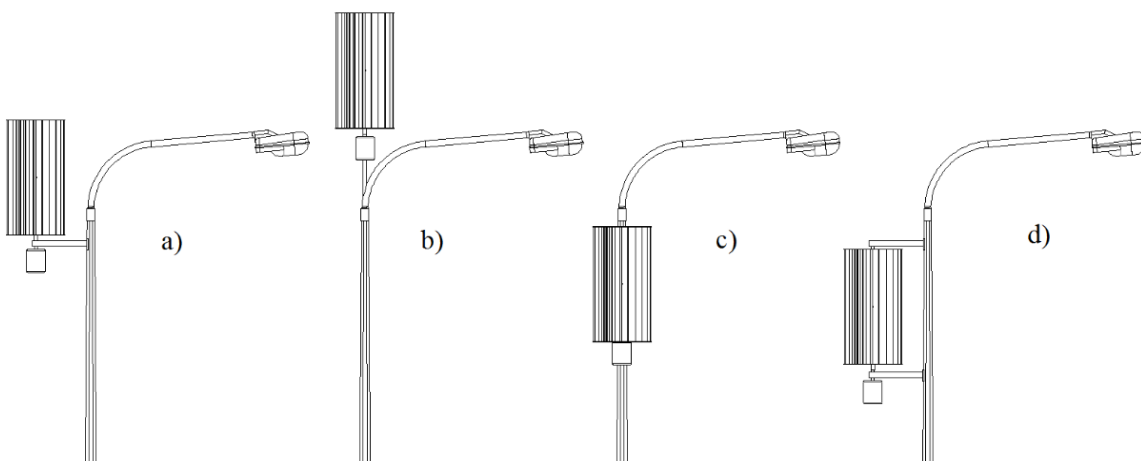
Wartość siły na kierunku Y jest pomijalnie mała, zaś siły na kierunkach X i Z zostały w celu uproszczenia modelu zastąpione siłami ścinającymi i momentami zginającymi przyłożonymi na końcu wspornika (rys. 4-6).

Metodą opisaną powyżej obciążono i przeprowadzono analizy słupa oświetleniowego dla czterech wariantów zamocowania siłowni wiatrowej oraz dla przypadku bazowego (konstrukcji bez zamontowanej siłowni wiatrowej).

2. WARIANTY UMIEJSCOWIENIA MIKROTURBINY WIATROWEJ

Analizę koncepcyjną umiejscowienia siłowni wiatrowej na słupach oświetleniowych prowadzono dla poniższych wariantów:

- zespół mocowany na wsporniku,
- zespół mocowany w osi słupa powyżej wysięgnika,
- zespół mocowany w osi słupa poniżej wysięgnika,
- zespół mocowany na dwóch wspornikach.



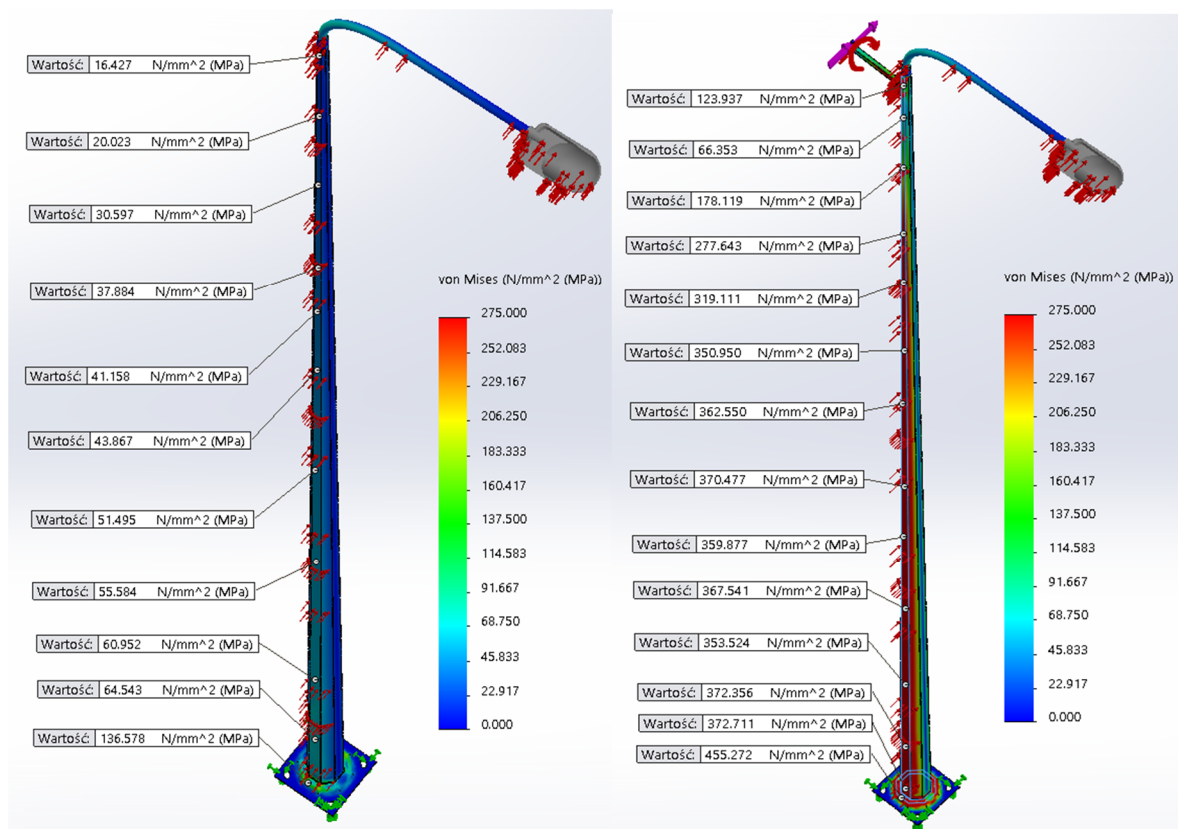
Rys. 3. Warianty mocowania zespołów mikroturbin

Najważniejszą cechą przemawiającą za użyciem koncepcji a) jest stosunkowo łatwy montaż na istniejącym już słupie oświetleniowym. Dodatkowo można przypuszczać, że zespół turbiny i generatora, zamocowany po przeciwnej stronie słupa niż wysięgnik z oprawą, będzie

w stanie częściowo zrównoważyć moment zginający pochodzący od siły ciężkości oprawy oraz moment skręcający pochodzący od siły naporu wiatru. Zaletą koncepcji b) jest najwyższy punkt zamocowania turbiny, zatem największa jej ekspozycja na działanie wiatru oraz oddalenie od źródeł zakłóceń ruchu powietrza (np. ciągów komunikacyjnych, wzdłuż których rozstawione mogą być słupy). Jednakże wysokie umiejscowienie siłowni wiatrowej jest źródłem zwiększenia momentów zginających konstrukcję na skutek wydłużenia ramienia działania sił naporu wiatru na zespół turbiny. Wariant c) charakteryzuje się harmonią kształtu wynikającą z bardziej zwartej bryły, jaka powstała po zamocowaniu zespołu. Stwarza to szersze możliwości stylizacji turbiny, tak by można ją było skomponować z otaczającymi ją obiektami małej architektury. Wariant c) wymusza jednak znaczną ingerencję w konstrukcję słupa, by był możliwy montaż turbozespołu lub problematyczne zastosowanie dzielonej konstrukcji (turbiny, łożysk czy generatora). Koncepcja d) łączy pewne cechy wariantów a) oraz c). Momenty skręcające działające na słup częściowo się równoważą, a dodatkowo dzięki zastosowaniu górnego wspornika nie występują momenty skręcające wspornik dolny.

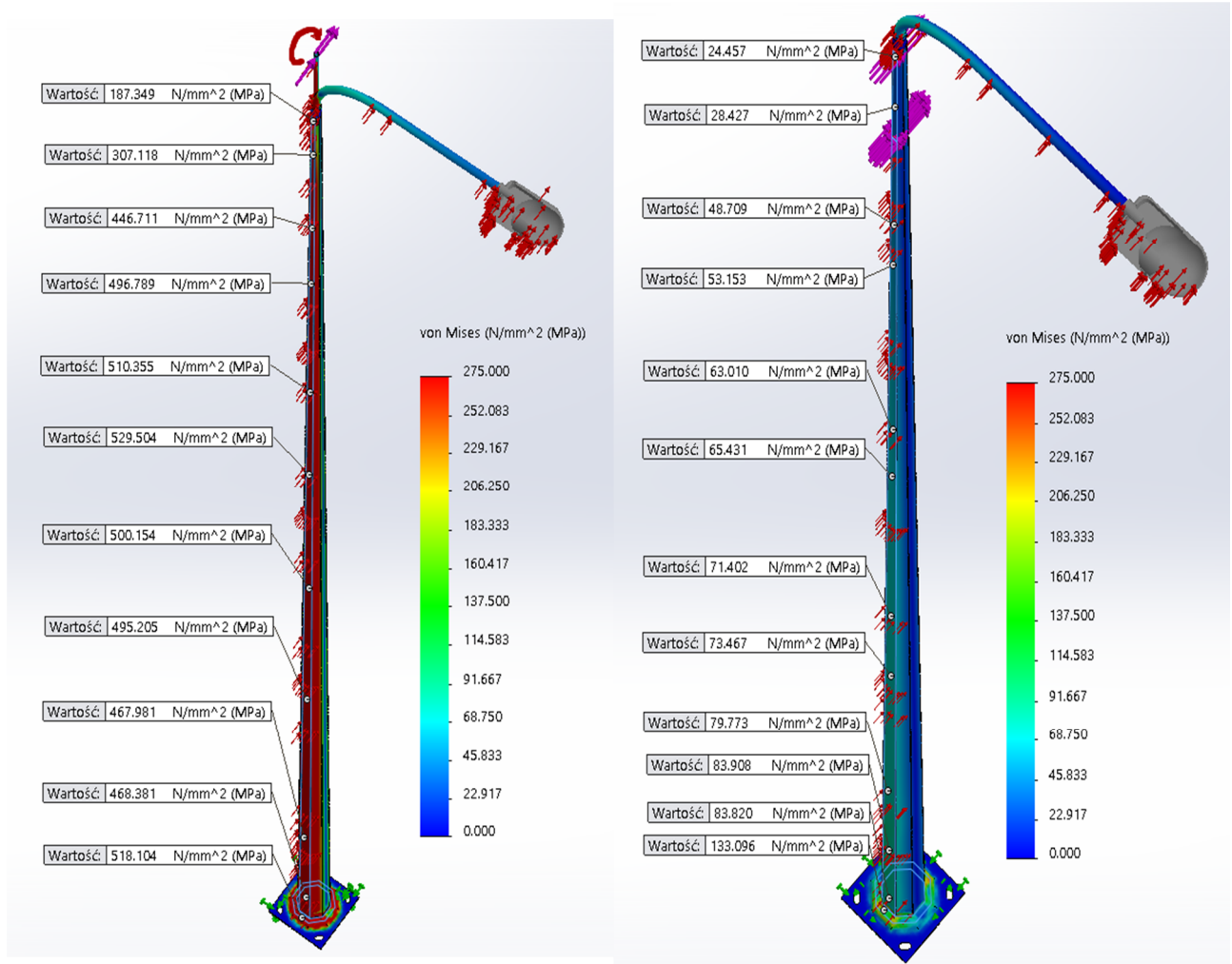
3. ANALIZY STATYCZNE KONSTRUKCJI SŁUPÓW

Poniższe ilustracje przedstawiają wyniki analiz statycznych dla wszystkich rozpatrywanych wariantów zamocowania siłowni wiatrowej na istniejącym słupie oświetleniowym. Badania symulacyjne prowadzono według wcześniej opisanej metodyki badań przy użyciu powyżej podanych narzędzi do analizy inżynierskiej.

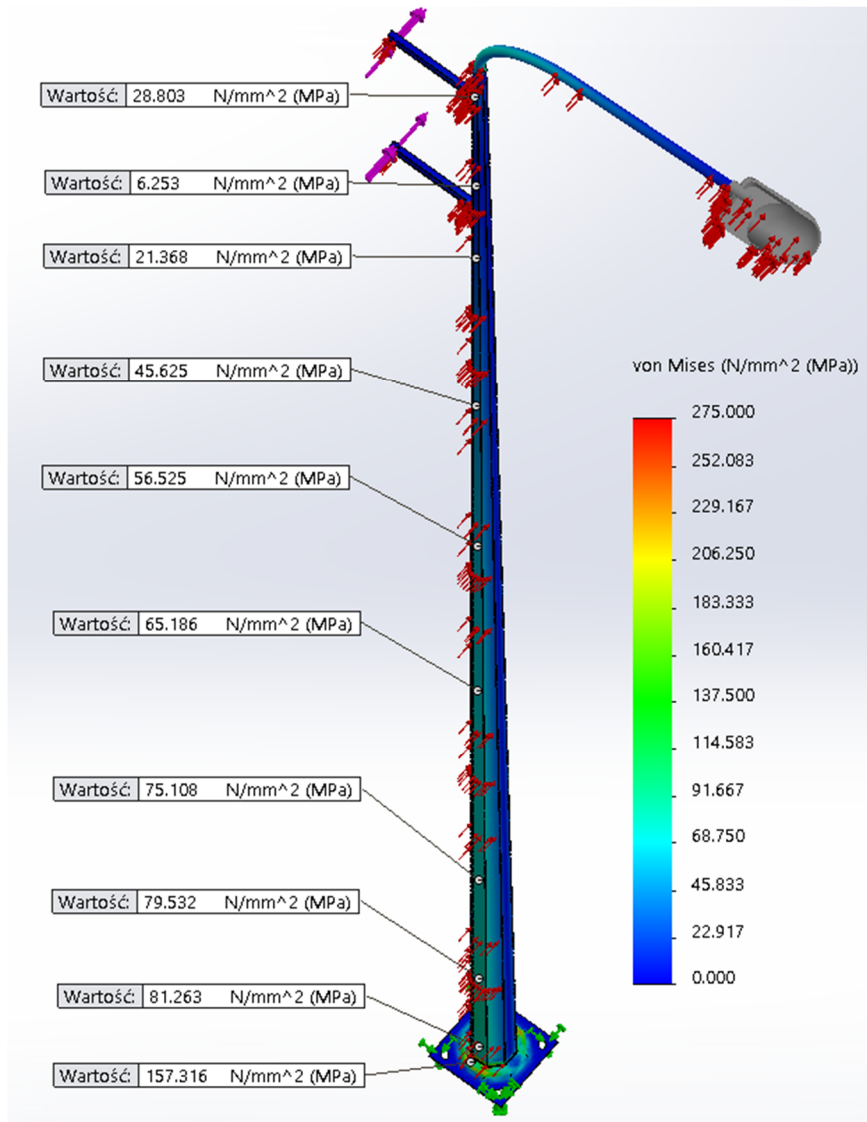


Rys. 4. Analiza naprężeń. Z lewej – słup oświetleniowy bez zamocowanej turbiny (przypadek bazowy), z prawej – z turbiną zamocowaną na wsporniku (wariant a)

W celu poprawienia przejrzystości prezentowanych wyników oprócz rozkładu naprężeń wyznaczanego kolorami i ich odcieniami, zgodnie z podaną skalą, dodatkowo zamieszczono tabele z wartościami naprężeń zredukowanych wg hipotezy von Misesa występujących w punktach charakterystycznych dla analizowanej konstrukcji.



Rys. 5. Analiza naprężeń. Z lewej – turbina zamocowana nad wysięgnikiem (wariant b), z prawej – turbina zamocowana w osi słupa pod wysięgnikiem (wariant c)



Rys. 6. Analiza naprężeń. Turbina zamocowana na dwóch wspornikach (wariorant d)

3.1. Analiza otrzymanych wyników

Największe naprężenia w konstrukcji słupa można zaobserwować w koncepcjach a) oraz b). Wartości powstałych naprężeń mogły lokalnie nawet dwukrotnie przekraczać granicę plastyczności materiału słupa. Aby konstrukcje te spełniały warunki wytrzymałościowe i bezpieczeństwa, konieczne byłoby znaczne wzmocnienie słupów, co wiąże się z dużym podwyższeniem kosztów inwestycji.

Wyniki analiz przeprowadzonych dla wariantu c) oraz d) mają korzystny charakter. W żadnym punkcie nie została przekroczona granica plastyczności materiału. Efekt ten wynika z umiejscowienia siłowni wiatrowej na niższej wysokości oraz zredukowania momentów skręcających wokół osi słupa. Ponadto uzyskany został współczynnik bezpieczeństwa na poziomie 3,35 na samym słupie oraz 1,74 w jego podstawie.

4. PODSUMOWANIE

Otrzymane wyniki potwierdzają założenie, jakie przyjęli autorzy niniejszego opracowania odnośnie do możliwości wykorzystania słupów oświetleniowych do pełnienia funkcji konstrukcji nośnej mikrośirowni wiatrowych. W celu uzyskania pełnej informacji na temat relacji nakładów do zysków przy zastosowaniu tego typu rozwiązania kluczowe jest znalezienie kompromisu pomiędzy jak najwyższym punktem mocowania turbiny, związanym z maksymalizacją jej wydajności, a ograniczeniem momentów zginających i skręcających konstrukcję słupa. Dla zapewnienia bezpiecznej eksploatacji urządzenia, na słupie należy wprowadzić wzmocnienia. Precyzyjne określenie ich rodzaju i miejsca zastosowania będzie przedmiotem dalszych prac prowadzących do zaprojektowania i zaimplementowania siłowni wiatrowej w warunkach rzeczywistych.

Przedstawione prace zostały wykonane w ramach realizacji projektu nr N N502 511940 pt. *Modele funkcjonalne i badania konstrukcji quasi-autonomicznego punktu oświetleniowego lub sygnalizacyjnego.*

LITERATURA

- [1] PN-EN 1991-1-4:2008 *Oddziaływanie na konstrukcje – Część 1-4: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru.*
- [2] EN 40-3-1:2000 *Słupy oświetleniowe – Część 1-3: Projektowanie i weryfikacja – Obciążenia charakterystyczne.*
- [3] Nalepa K., Miąskowski W., Pietkiewicz P., Piechocki J., Bogacz P.: *Poradnik małej energetyki wiatrowej*, Warmińsko-Mazurska Agencja Energetyczna, Olsztyn, 2011.
- [4] http://sklep.el12.pl/kategoria/430/oprawy_uliczne.html.