

Koncepcja systemu podnoszenia masztu turbiny wiatrowej o małej mocy

Concept of a small wind turbine pole lifting system

JERZY MAŁACHOWSKI
KRZYSZTOF DAMAZIAK
TOMASZ SZAFRAŃSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.5-6.95

Artykuł z XIII Forum Inżynierskiego ProCAx 2015

Przedstawiono koncepcję systemu przeznaczoną do podnoszenia i opuszczania (bez użycia ciężkiego sprzętu) konstrukcji nośnej (15-metrowego masztu) małej turbiny wiatrowej (z dyfuzorem o mocy ok. 3,5 kW i masie ok. 200 kg). W odróżnieniu od istniejących systemów umożliwia on podnoszenie masztów z przegubem centralnym. Zaproponowano rozwiązanie konstrukcyjne urządzeń tworzących system oraz procedurę montażu masztu z wykorzystaniem tego systemu. Ponadto zaprezentowano analizy numeryczne mające na celu wstępną weryfikację elementów systemu i zbadanie rozkładu naprężeń w konstrukcji, co pozwoli na wprowadzanie dalszych zmian konstrukcyjnych.

SŁOWA KLUCZOWE: mała turbina wiatrowa, maszt, podnoszenie masztu, odciąg linowe, przegub centralny

This paper presents the concepts of a self-erecting system for a small wind turbine pole. The presented system provides for erecting and lowering the pole without use of heavy machinery. Unlike existing solutions the designed system allows to raise the poles with central joints. This paper presents a proposal for structural components of the system. The pole assembly procedure using the proposed system is also explained. This paper also presents the preliminary numerical analysis aimed at pre-verification system components and the stress assessment of the structural solution in question. The analysis when performed will allow to introduce further design changes. The proposed structure is planned to raise a 15 meter pole for small wind turbine with a diffuser of rated power of about 3.5 kW and 200 kgs weight.

KEYWORDS: small wind turbines, pole, pole erecting, guy wires, central joint

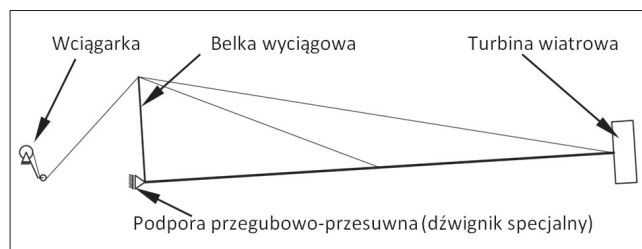
W całkowitym zużyciu energii udział energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych stale rośnie. W Polsce w 2011 r. energia odnawialna stanowiła zaledwie 8,3% zużywanej energii elektrycznej (podczas gdy w krajach Unii Europejskiej UE-27 – średnio 20,4%), jednak do 2020 r. wskaźnik ten ma osiągnąć 15% [1]. Ze względu na położenie geograficzne Polski rozwój energii geotermalnej i słonecznej jest silnie ograniczony, więc głównymi źródłami energii odnawialnej są: biopaliwa, energia wodna i energia wiatrowa.

Elektrownie wiatrowe o małej mocy, określane akronimem SWT (*small wind turbines*), mogłyby być źródłem energii elektrycznej w większości polskich gospodarstw. Niestety, koszt tego rodzaju elektrowni jest dość duży (w przypadku turbin o mocy powyżej 1 kW ceny zaczynają się od 12 tys. zł) i niewielu odbiorców indywidualnych może sobie pozwolić na jej zakup.

Znaczącą część masy turbiny wiatrowej stanowi jej konstrukcja nośna. Aby tę masę ograniczyć, zamiast stosowanej zazwyczaj wieży wykorzystano lekki maszt z odciągami. Obecnie istnieje kilka systemów przeznaczonych do stawiania konstrukcji nośnych turbin bez konieczności użycia ciężkiego sprzętu, jednak żaden z nich nie pozwala na montaż masztu. Autorzy przygotowali i przeanalizowali wstępny projekt systemu podnoszenia masztu turbiny wiatrowej małej mocy. Praca jest finansowana ze środków funduszy norweskich, w ramach programu Polsko-Norweska Współpraca Badawcza realizowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (Pol-Nor/200957/47/2013).

Opis koncepcji

Podstawowym założeniem projektu jest maksymalna redukcja kosztów nabycia turbiny, dlatego procedura podnoszenia i składania masztu musiała wykluczać użycie ciężkiego sprzętu, takiego jak żurawie. Zaproponowane rozwiązanie wykorzystuje zestaw trzech nieskomplikowanych urządzeń, w które zostanie wyposażona ekipa monterów. Schemat podnoszenia masztu przedstawiono na rys. 1.

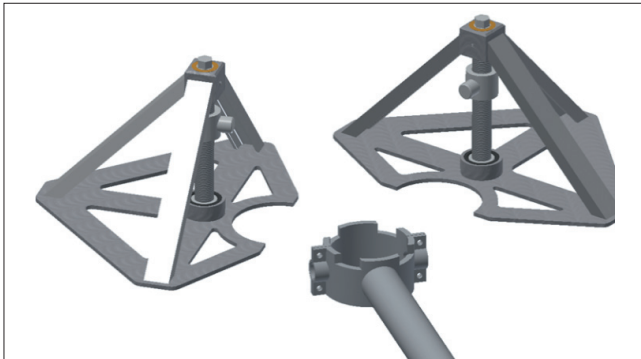


Rys. 1. Schemat podnoszenia masztu turbiny wiatrowej

Zgodnie z projektem do podstawy masztu jest zamocowana belka wyciągowa z przymocowanymi odciągami linowymi jednej strony masztu oraz liną wciągarki. Nawijanie liny na wciągarkę powoduje podnoszenie masztu do pionu. Ponieważ konstrukcja przegubu centralnego masztu nie przewiduje tak dużych wychyleń, konieczne jest zastosowanie dodatkowego dźwignika z przegubem sworzniowym, który pozwoli na rozłączenie przegubu centralnego masztu na czas potrzebny do postawienia/położenia masztu oraz umożliwi jego obrót w jednej płaszczyźnie pionowej.

Belka wyciągowa, zamocowana na górnej części przegubu centralnego, posiada czopy na łożyska, zapewniające przegubowe połączenie masztu z dźwignikami śrubowymi oraz uniesienie końca masztu na wysokość gwarantującą luz między górną i dolną częścią przegubu centralnego. Zaproponowane dźwigniki oraz belkę wyciągową (jej końcowy fragment z gniazdem) pokazano na rys. 2.

* Dr hab. inż. Jerzy Małachowski (jerzy.malachowski@wat.edu.pl), dr inż. Krzysztof Damaziak (krzysztof.damaziak@wat.edu.pl), mgr inż. Tomasz Szafranski (tomasz.szafranski@wat.edu.pl) – Wojskowa Akademia Techniczna

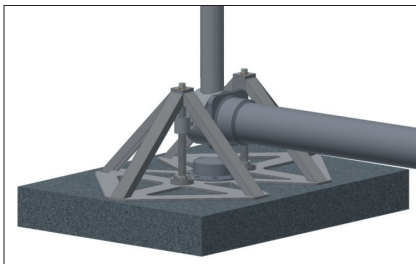


Rys. 2. Dźwigniki oraz belka wyciągowa

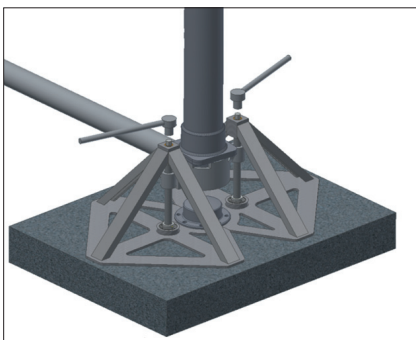
Skrócona procedura podnoszenia masztu

Procedura montażu masztu z wykorzystaniem zaproponowanego systemu jest następująca:

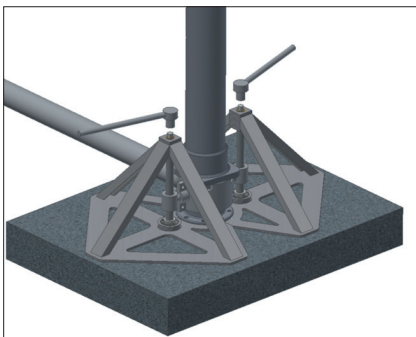
- Na górną część przegubu centralnego założyć belkę wyciągową i jej stopkę. Skręcić śruby mocujące belkę i stopkę.
- Unieść dolny koniec masztu – tak, aby czopy nakrętek roboczych można było włożyć w gniazda w belce wyciągowej.
- Włożyć czopy podnośników w łożyska. Podnośniki przesunąć do siebie (rys. 3).
- Zamontować linę wyciągarki na belce wyciągowej.
- Nawijać linę do momentu ustawienia masztu w pionie (rys. 4).
- Przepiąć dolny odciąg przedni z belki wyciągowej do kotwy w podłożu.



Rys. 3. Montaż urządzeń na końcu masztu



Rys. 4. Postawienie masztu do pozycji pionowej



Rys. 5. Opuszczenie masztu na przegub centralny

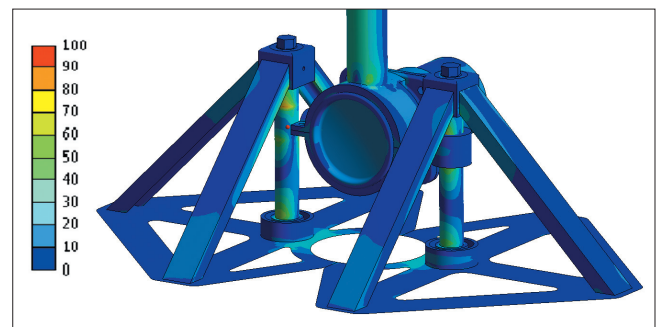
- Równomiernie obracać śrubami podnośników aż do opuszczenia masztu na przegub centralny (rys. 5).
- Zdemontować podnośniki.
- Zdemontować belkę wyciągową.
- Napiąć odciąg zgodnie z wytycznymi.

Numeryczna analiza wytrzymałościowa podnośników i gniazda belki wyciągowej

W celu zweryfikowania założeń projektowych oraz dokonania oceny technicznej możliwości wykonania systemu podnoszenia masztu przeprowadzono analizę wytrzymałościową najbardziej obciążonego węzła: podnośników i gniazda belki wyciągowej. Obciążenie dobrano na podstawie prostej analizy numerycznej masztu wraz z turbiną i odciągami. Obliczenia wykonano w środowisku Ansys Workbench.

Na etapie prac koncepcyjnych nie ma konieczności stosowania dokładnego modelu numerycznego (nie chodzi bowiem o szczegółową weryfikację konstrukcji, lecz o ocenę jej podatności na obciążenia i możliwości wprowadzania zmian konstrukcyjnych), dlatego zrezygnowano ze złożonych algorytmów kontaktu i wykorzystano model liniowy.

Na rys. 6 przedstawiono rozkład naprężenia zredukowanego według hipotezy Hubera-Misesa-Hencky'ego (HMH). Jak widać, maksymalne naprężenie nie przekracza 100 MPa, zatem elementy systemu nie muszą być wykonane z drogich materiałów o wysokiej jakości. Zgodnie z przewidywaniami koncentracja naprężenia występuje w śrubie – w obszarach podparcia oraz nakrętki.



Rys. 6. Rozkład naprężenia zredukowanego (w MPa) według hipotezy HMH w podnośnikach i belce wyciągowej

Wnioski

Zdaniem autorów prezentowany system może się przyczynić do znaczącego obniżenia kosztów konstrukcji nośnej i instalacji masztów małych turbin wiatrowych. System jest stale udoskonalany, a jednym z głównych zamierzeń jest zastąpienie połączenia sworzeń-tuleja połączeniem wykorzystującym łożyska toczne, co znacząco zmniejszy tarcie w przegubie i zwiększy jego trwałość oraz zredukuje obciążenia występujące w całej konstrukcji.

LITERATURA

1. Gsänger S., Pitteloud J. "Small Wind World Report 2014". Bonn: World Wind Energy Association, 2014.
2. Gasch R., Tvele J. "Wind Power Plants. Fundamentals, Design, Construction and Operation. Second Edition". Springer, 2012.
3. "Tilt-Up Tower Installation Manual". Endurance Wind Power, Inc., 2008.
4. "24 Foot Tower Manual". Southwest Windpower, 2005. ■