

## PROBLEMATYKA WYKORZYSTANIA ENERGII WIATRU W GOSPODARSTWIE ROLNYM

Edyta Reiter, Leon Kukiełka

*Katedra Mechaniki Technicznej i Wytrzymałości Materiałów, Politechnika Koszalińska*

**Streszczenie.** Praca dotyczy możliwości zwiększenia wykorzystania energii elektrycznej pozyskiwanej z wiatru w gospodarstwie rolnym. Zobrazowano rejony Polski, na których możliwe jest zastosowanie siłowni wiatrowych. Przedstawiono problematykę obliczania i doboru siłowni wiatrowej w zależności od indywidualnych potrzeb i lokalizacji gospodarstwa rolnego. W tym celu na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej opracowano autorskie aplikacje w systemie ANSYS pozwalające na obliczenia wytrzymałościowe najważniejszych elementów siłowni. Przedstawiono przykładowe obliczenia przepływu powietrza przez łopatę oraz obliczenia wytrzymałościowe łopaty i wieży.

**Słowa kluczowe:** energia wiatru, siłownia wiatrowa, rolnictwo, Ansys, badanie przepływów powietrza, obliczenia wytrzymałościowe

### Inżynieria wiatrowa a rolnictwo

W 2010 roku wprowadzono nową, korzystną politykę wspierania samodzielnych podmiotów przetwarzających energię wiatru np. w energię elektryczną. Dzięki temu następuje dynamiczny rozwój odnawialnych źródeł energii i ich zastosowanie w wielu gałęziach gospodarki. Do nich należy między innymi rolnictwo, wykorzystujące na swoje potrzeby znaczną ilość energii elektrycznej. W ogólnym rozrachunku Polska jest importerem energii. Struktura gospodarki energetycznej Polski jest nadal zbyt jednostronna. Dla typowych przemian energetycznych istotnym parametrem informującym o prawidłowości przebiegu procesu produkcji jest jego sprawność [Wojdalski 1998]. Aby parametr ten był zadawalający gospodarstwo nie powinno być uzależnione tylko od lokalnego dostawcy energii. Ważne jest, aby posiadało źródło własnej energii, zaprojektowane indywidualnie do swoich potrzeb. Należy przełamać stereotypy o źle zaprojektowanych urządzeniach technicznych doprowadzających zbyt małe ilości energii elektrycznej lub ulegającym częstym awariom ze względu na wadliwą konstrukcję. Raport „Wizja rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce do 2020 r.” przewiduje udział mocy zainstalowanej dla energetyki wiatrowej wynoszący prawie 13 GW [Mroczek 2010], stanowiąc ekologiczne źródło energii o najniższych nakładach inwestycyjnych. Możliwe będzie również instalowanie siłowni wiatrowych w gospodarstwach rolnych za sprawą instytucji wspierających rozwój odnawialnych źródeł energii między innymi: Fundacja Rolnicza, Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa, EkoFundusz, Wojewódzkie Fundusze Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, Program Małych i Średnich Grantów GEF. Najczęściej pomoc obejmuje preferencyjne

kredyty lub dotacje do wysokości 50% kosztów inwestycji. Istnieje również możliwość bezzwrotnego wsparcia wynoszącego 25% wartości poniesionego kredytu [Wsparcie finansowe 2011]. Programem tym może być objęta znaczna liczba z 1600 tys. gospodarstw rolnych, zlokalizowanych w korzystnych strefach energetycznych. Jednak budowane obecnie siłownie wiatrowe o poziomej osi obrotu, ze względu na zbyt duże moce (ponad 2 MW) są za duże a ze względu na wysoki koszt, również za drogie dla wielu gospodarstw. Alternatywą są małe siłownie wiatrowe o pionowej i poziomej osi obrotu dostosowane do indywidualnych potrzeb i lokalizacji gospodarstwa.

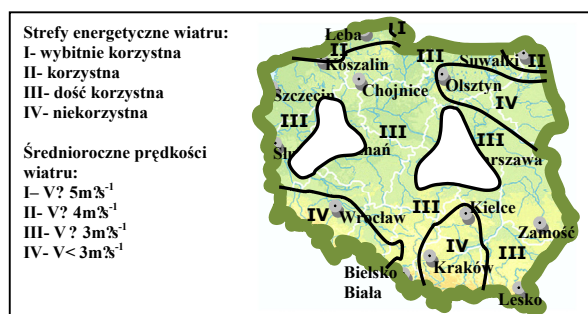
## Cele pracy

Celami pracy są:

- zaprezentowanie stanu energetyki wiatrowej oraz możliwości jej rozwoju i wykorzystania w gospodarstwach rolnych.
- opracowanie autorskich aplikacji w programie ANSYS do kompleksowych obliczeń zjawisk fizycznych występujących w siłowniach wiatrowych oraz do obliczeń wytrzymałościowych najważniejszych ich elementów konstrukcyjnych.
- przykładowe obliczenia przepływu powietrza przez łopatę oraz obliczenia wytrzymałościowe wybranych elementów siłowni wiatrowej – łopaty i wieży.

## Opłacalność zastosowania siłowni wiatrowych

Podstawowym parametrem oceny opłacalności siłowni wiatrowej w danych warunkach jest ilość wyprodukowanej energii elektrycznej [Flaga 2008], która zależy od położenia gospodarstwa rolnego (lokalizacji siłowni), czyli od strefy energetycznej wiatru. Korzystne uwarunkowania do zagospodarowania wiatru na obszarze ok. 60% powierzchni kraju otwierają możliwości rozwoju inżynierii wiatrowej i wykorzystania jej w siłowniach wiatrowych (rys. 1).



Źródło: [Flaga 2008] <http://elektrownie-wiatrowe.com.pl/realizacje.html>

Rys. 1. Mapa średniorocznych prędkości wiatru i stref energetycznych w Polsce  
 Fig. 1. Map of the year average wind speeds and energy zones in Poland

Przykładowo, jeśli gospodarstwo rolne będzie się znajdowało w okolicach Poznania, czyli w strefie II, dla której średnioroczna prędkość wiatru wynosi  $V=4,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  umiejscowienie tam siłowni wiatrowej jest korzystne, gdyż wartość użyteczna energii pozyskiwanej z jednego  $\text{m}^2$  powierzchni koła wirowego w ciągu roku wynosi  $259,8 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Natomiast gospodarstwa znajdujące się w strefie IV ( $V<3,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) posiadają niekorzystne warunki gdyż ilość pozyskiwanej energii jest zbyt mała (poniżej  $100 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) [Flaga 2008]. Istotne informacje można uzyskać również w najbliższej stacji meteorologicznej, która posiada dokładniejsze informacje odnośnie danego terenu. Jeśli jest to możliwe siłownie należy umieszczać na specjalnych masztach lub wzniesieniach w celu wykorzystania poziomów o zwiększonych przepływach mas powietrza.

### **Komputerowe wspomaganie projektowania siłowni wiatrowych**

Proponuje się stworzenie typoszeregu siłowni wiatrowych o zróżnicowanej mocy lub indywidualny projekt siłowni, który uwzględni specyfikę gospodarstwa, jego lokalizację oraz zapotrzebowanie na energię. Wówczas niezbędne jest przeprowadzenie podstawowych obliczeń przy pomocy specjalistycznych programów np. ANSYS. Na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej opracowano aplikacje w systemach Solid Works i ANSYS (moduły Ls-Dyna i Flotran), które umożliwiają przeprowadzenie następujących obliczeń:

- 1) Analiza przepływu wiatru przez łopate dla dowolnej prędkości wiatru i dowolnej geometrii łopaty.
- 2) Obliczenia wytrzymałościowe łopaty i wieży dla dowolnej ich geometrii oraz właściwości materiałów.
- 3) Optymalizacja i analiza wytrzymałości zmęczeniowej łopaty i wieży dla dowolnego obciążenia wiatrem i siłami bezwładności.

Efektywność w pozyskiwaniu energii elektrycznej przez siłownię wiatrową zależy w dużym stopniu od jej konstrukcji. Pierwszym etapem jest analiza przepływu wiatru. Przykładowe modele geometryczne wykonane w programie Solid Works zostały zaimplementowane w systemie ANSYS do obliczeń metodą elementów skończonych. Za pomocą modułu Flotran prowadzona jest analiza przepływu powietrza, powstawanie wirów oraz określenie wartości ciśnień oddziałujących na elementy siłowni. Następnie w module Ls-Dyna dokonuje się obliczeń stanów przemieszczeń, odkształceń i naprężeń w łopacie i wieży, w dowolnej chwili pracy siłowni i dla zadanej prędkości wiatru. Możliwa jest również optymalizacja konstrukcji łopat oraz wieży siłowni wiatrowej. Dobór funkcji celu i zmiennych decyzyjnych pozwala uzyskać konstrukcję siłowni wiatrowej dopasowanej do potrzeb każdego gospodarstwa rolnego.

### **Przykładowe obliczenia siłowni wiatrowych małej mocy**

Po określeniu zapotrzebowania na energię elektryczną w gospodarstwie rolnym można zaprojektować lub dobrać siłownię wiatrową o pionowej lub poziomej osi obrotu.

Moc rozwijana przez strumień powietrza wyraża się wzorem [Stiebler 2008]:

$$P = C_p \cdot \frac{\rho}{2} \cdot A \cdot V^3 \quad [\text{W}], \quad (1)$$

gdzie:

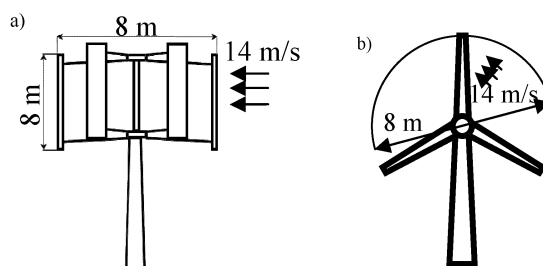
- $C_p$  – współczynnik mocy (zależny od prędkości wiatru i rodzaju siłowni wiatrowej),
- $\rho$  – gęstość powietrza [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ],
- $A$  – powierzchnia zakreślana przez wirnik [ $\text{m}^2$ ],
- $V$  – prędkość wiatru przed wirnikiem [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ].

Posiadając dane techniczne siłowni wiatrowej można obliczyć moc jaką uzyska się przy danej prędkości wiatru (rys. 2) przez przykładową siłownię wiatrową o pionowej osi obrotu:

$$P = 0,34 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 64 \cdot 14^3 \approx 35,8 \quad [\text{kW}],$$

oraz przez porównywalną siłownię o poziomej osi obrotu:

$$P = 0,41 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 50,24 \cdot 14^3 \approx 33,9 \quad [\text{kW}],$$

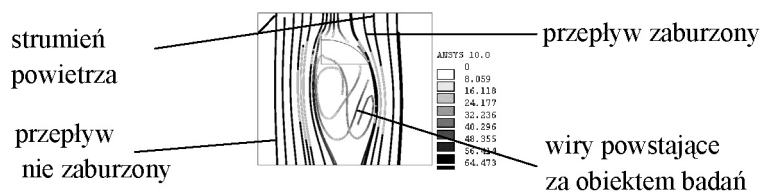


Źródło: opracowanie własne autorów

Rys. 2. Przykładowa siłownia wiatrowa: a) o pionowej osi obrotu, b) o poziomej osi obrotu  
 Fig. 2. Example of wind turbine: a) with vertical axis, b) with horizontal axis

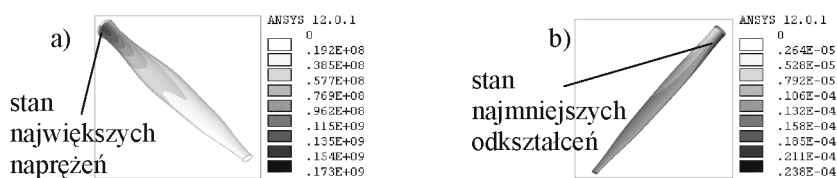
Dla wymaganej mocy siłowni należy dobrać generator prądu oraz dokonać szczegółowych obliczeń przepływu powietrza przez łopate, zaprojektować konstrukcję oraz przeprowadzić obliczenia wytrzymałościowe i optymalizacyjne łopaty i wieży.

Przykładowe wyniki obliczeń, przeprowadzonych przy pomocy opracowanych aplikacji, przedstawiono na rysunkach 3-5. Założono, że część robocza łopaty została zbudowana z duraluminium PA6, a wieża i element łączący łopatę z piastą są wykonane ze stali S355N. Oba te materiały zostały zamodelowane jako materiał sprężysto-plastyczny. Właściwości materiałowe duraluminium PA6: moduł Younga  $E=72,5$  GPa, współczynnik Poissona  $\nu=0,33$ , naprężenia uplastyczniające  $\sigma_0=145$  MPa i moduł umocnienia  $E_T=100$  MPa. Właściwości materiałowe stali S355N:  $E=210$  GPa,  $\nu=0,27$ ,  $\sigma_0=355$  MPa i  $E_T=610$  MPa.



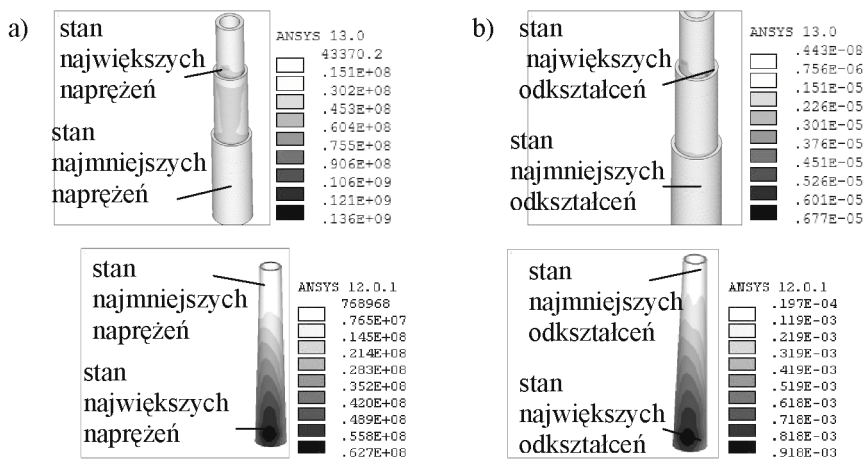
Źródło: [Reiter i in. 2011]

Rys. 3. Przepływ powietrza przez łopatkę  
Fig. 3. Air flow by the blade



Źródło: [Reiter i in. 2011]

Rys. 4. Stan naprężeń zastępczych (a) i stan odkształceń zastępczych (b) obliczanej łopaty  
Fig. 4. States of equivalent stress (a) and equivalent strain (b) in the calculated turbine blade



Źródło: opracowanie własne autorów

Rys. 5. Stan naprężeń zastępczych (a) i stan odkształceń zastępczych (b) w wieży o konstrukcji segmentowej lub stożkowej  
Fig. 5. State of equivalent stress (a) and state of equivalent strain in the segmental or conical tower

## Wnioski

1. Z analizy stref energetycznych Polski wynika, że możliwe jest zwiększenie wykorzystania energii wiatru w wielu gospodarstwach rolnych.
2. Oferowane siłownie wiatrowe o poziomej osi obrotu są za duże i za drogie. Dlatego też należy opracować typoszereg nowych konstrukcji siłowni małej mocy o poziomej i pionowej osi obrotu, dostosowanych do indywidualnych potrzeb oraz lokalizacji gospodarstwa rolnego.
3. Opracowane autorskie aplikacje w systemie ANSYS umożliwiają przeprowadzenie podstawowych obliczeń siłowni wiatrowych w procesie ich projektowania, a głównie: przepływ wiatru, obliczenia wytrzymałościowe, zmęczeniowe, optymalizacyjne najważniejszych części tj. łopaty i wieży. Aplikacje mogą być również przydatne podczas doboru siłowni do określonego gospodarstwa.
4. Z przeprowadzonych przykładowych obliczeń wynika, że siłownie o poziomej i pionowej osi obrotu o zbliżonych wymiarach uzyskują porównywalne moce.
5. Niebezpiecznym przekrojem łopaty jest połączenie z piastą, w którym naprężenia maksymalne wynoszą  $\sigma_{z_{max}} = 173$  MPa. Natomiast w wieży najbardziej obciążone są połączenia pomiędzy kolejnymi jej segmentami a w przypadku wieży stożkowej – jej połączenie z fundamentem.

## Bibliografia

- Flaga A.** 2008. Inżynieria wiatrowa. Podstawy i zastosowania. Wyd. Arkady. s. 642-652.
- Stiebler M.** 2008. Wind energy systems for electric power generation. Wyd. Springer. s. 12.
- Wojdalski J.** 1998. Energia i jej użytkowanie w przemyśle rolno-spożywczym. Wyd. SGGW. s. 166-179.
- Reiter E., Patyk R.** 2011. Wykorzystanie systemu Ansys do obliczeń wytrzymałościowych siłowni wiatrowej. VII Konferencja studentów i młodych pracowników nauki Wydziału Mechanicznego. s. 139-144.
- Mroczek J.** 2010. Strona internetowa zawierająca Raport-Wizja rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce do 2020 r. [dostęp 20.03.2011]. Dostępny w Internecie: <http://www.domrel.pl>.
- Wsparcie finansowe 2011. Strona internetowa zawierająca informacje o wsparciu finansowym. [dostęp 20.03.2011]. Dostępny w Internecie: <http://greenenergy.net.pl/finansowanie.html>.

## **PROBLEM STATEMENT OF WIND ENERGY ISSUES ON THE FARM**

**Abstract.** The work concerns the possibility of increasing use of electricity generated from wind farm. Illustrated the Polish regions, where it is possible to use wind turbines. Presents problems of calculation and selection of wind turbine, depending on individual needs and location of the farm. To this purpose, the Department of Mechanical Engineering Technical University of Koszalin copyright applications developed in ANSYS system allowing key elements of strength calculations the gym. Shown sample calculations of air flow by blade and the endurance calculation of blade and tower.

**Key words:** wind energy, wind power farm, agriculture, Ansys, the study of air flow, strength calculations

Adres do korespondencji:

Edyta Reiter, e-mail: edyta.reiter@wp.pl

Katedra Mechaniki Technicznej i Wytrzymałości Materiałów

Politechnika Koszalińska

ul. Raławicka 15-17

75- 620 Koszalin