

Zbigniew Goryca  
 Politechnika Świętokrzyska, Kielce

## MAŁA ELEKTROWNIA WIATROWA Z TURBINĄ PIĘCIOŁOPATOWĄ

### SMALL WIND POWER PLANT WITH FIVE BLADES TURBINE

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono konstrukcję i parametry małej elektrowni wiatrowej wyposażonej w pięciołopatowy wirnik o poziomej osi obrotu. Pomimo większego kosztu w porównaniu z wirnikiem trójłopatowym zdecydowano się na wirnik pięciołopatowy, gdyż przy wiatrach o niewielkiej prędkości uzyskuje się z niego znacznie więcej energii. Wirnik ten umieszczony jest bezpośrednio na wale trójfazowego generatora z magnesami trwałymi, którego obwód magnetyczny pokazano na rysunku ilustrującym rozkład pola magnetycznego. Generator zasila jednofazowy falownik podłączony bezpośrednio do sieci niskiego napięcia. Falownik umożliwia przekazywanie energii do sieci w szerokim zakresie napięcia uzyskiwanego z generatora, czyli w szerokim zakresie prędkości obrotowych turbiny wiatrowej. W artykule podano łączną ilość energii przekazanej do sieci w miesiącach: wrzesień, październik i listopad 2015 roku oraz moc szczytową elektrowni uzyskaną przy wietrze o prędkości 12 m/s. Elektrownia ta może być wykorzystana w budownictwie jedno i wielorodzinnym.

**Abstract:** The paper presents the construction and parameters of small wind power plant fitted with five blades turbine of horizontal pivot. Despite its higher cost, author decided to use five blades turbine instead of three blades turbine due to its higher efficiency for light winds. The rotor is directly connected to the shaft of three-phase permanent magnet generator. Magnetic circuit of the generator is presented in the figure showing magnetic field distribution. The generator supplies one-phase converter which is directly connected to the low power system. The converter allows for transmission of energy for wide range of angular speed of the turbine. The paper also gives all volume of energy transmitted the power system in months: September, October, November of 2015 as well as maximum power generated by power plant at the wind of velocity of 12m/s. Presented power plant can be used in houses.

**Słowa kluczowe:** elektrownia wiatrowa, prądnica

**Keywords:** wind power plant, generator

### 1. Wstęp

Małe elektrownie wiatrowe są coraz częściej stosowane jako dodatkowe źródło energii wspomagające system energetyczny domu jednorodzinnego [1], [2], [4], [9], [10]. Źródło to można wykorzystać do podgrzewania wody w układzie centralnego ogrzewania lub można zwracać energię elektryczną bezpośrednio do sieci energetycznej. W świetle ostatnio uchwalonej „ustawy prosumenckiej” ten drugi sposób wykorzystania energii wiatrowej jest najbardziej korzystny. Małe elektrownie wiatrowe pracują na niewielkich wysokościach rzędu kilkunastu metrów i na ogół przy małych prędkościach wiatru. W takich warunkach najlepiej sprawdzają się elektrownie wiatrowe z turbinami wielołopatowymi. W artykule pokazano budowę małej elektrowni wyposażonej w pięciołopatową turbinę o poziomej osi obrotu. Turbina ta założona jest bez przekładni na oś generatora zaprojektowanego specjalnie do tej

turbiny. Omówiono konstrukcję i parametry generatora oraz podano przykładowy rozkład pola magnetycznego w jego obwodzie magnetycznym. Do zwrotu energii do sieci energetycznej niskiego napięcia wykorzystano seryjny falownik pracujący z algorytmem MPPT.

### 2. Konstrukcja turbiny

Jak wspomniano wcześniej zastosowana turbina wiatrowa wyposażona jest w pięć łopatek o zmiennym przekroju i zmiennym kącie natarcia. Zmiany te są uzależnione od średnicy turbiny. Największy przekrój i największy kąt natarcia występuje u nasady łopaty. Łopaty turbiny wykonane są z laminatu poliestowo-szkłanego. W celu ochrony przed niszczącym laminat promieniowaniem ultrafioletowym turbinę pomalowano białym lakierem ochronnym. Rysunek nr 1 pokazuje konstrukcję turbiny.



Rys. 1. Widok małej elektrowni wiatrowej

Przedstawiona turbina ma średnicę 2,5 m i osiąga moc 2,4 kW przy wietrze o prędkości 12 m/s. Do ustawiania turbiny na wiatr służy ster kierunkowy o powierzchni 0,2 m<sup>2</sup> umieszczony w odległości 1,8 m od osi obrotu.

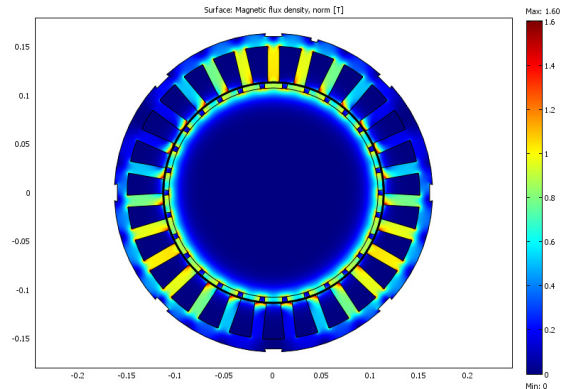
### 3. Konstrukcja generatora

Przy projektowaniu generatora przyjęto następujące, podstawowe założenia:

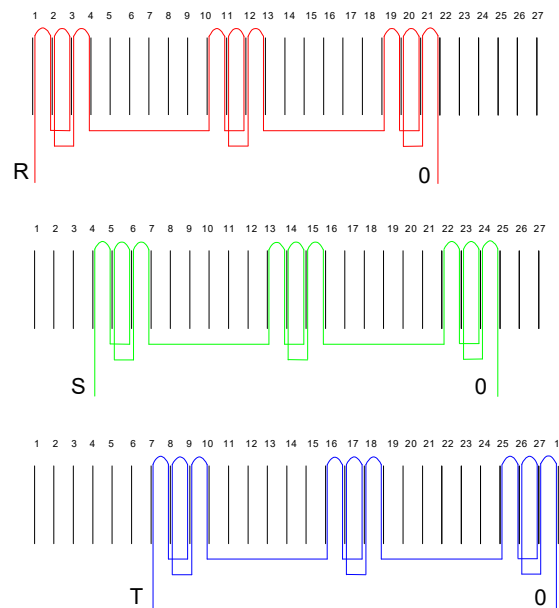
- moc 2,5 kW
- napięcie wyjściowe 3X170 V
- częstotliwość 50 Hz
- prędkość obrotowa 250 obr./min.

Do budowy generatora wykorzystano blachy stojana generatora o mocy 3 kW [4], [5]. W generatorze tym zastosowano, sprawdzony w poprzednich konstrukcjach [7], [8], sposób minimalizacji momentu zaczepowego [6]. Stojan maszyny ma 27 prostych zębów, na których umieszczono trójfazowe uzwojenie. Proste zęby stojana ułatwiają i przyspieszają proces uzwojenia – cewki uzwojenia można w takim przypadku formować na zewnętrznych wzornikach i zakładać na zęby stojana. Na wirniku umieszczono przemienniebiegunowo 24 segmentowe magnesy o szerokości 20 mm i wysokości 5 mm. Magnesy umieszczone są w niewielkich (1 mm) zagłębieniach. Taka forma umieszczenia magnesów eliminuje przyrządy stosowane do klejenia magnesów i zabezpiecza magnesy przed odklejeniem na skutek działania dużych sił stycznych występujących przy pracy generatora. Szerokość magnesu w 76 procentach wypełnia podziałkę biegunową, co jak obliczono zapewnia w przedstawionej konstrukcji minimum momentu zaczepowego. W celu zmniejszenia masy generatora jego wirnik wykonano

w postaci rury o ściance grubości 10 mm. Obliczenia projektowe modelu płaskiego wykonano przy użyciu programu COMSOL Multiphysics w wersji 3.3. Na rys. 2 pokazano przykładowy rozkład pola magnetycznego w opracowanym generatorze, a na rys. 3 schemat uzwojenia stojana.



Rys. 2. Rozkład strumienia magnetycznego

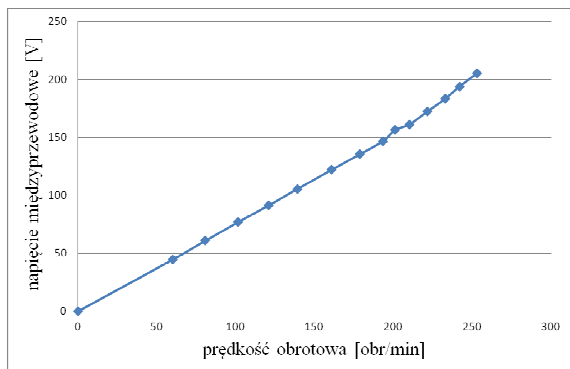


Rys. 3. Schemat uzwojenia generatora

### 4. Wyniki badań laboratoryjnych

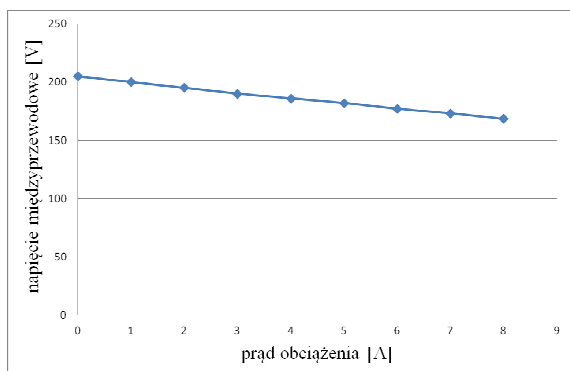
Badania laboratoryjne generatora obejmowały pomiary: momentu zaczepowego, napięcia biegu jałowego w funkcji prędkości obrotowej oraz napięcia wyjściowego w funkcji obciążenia przy prędkości znamionowej. Badany generator napędzany był przez przekładnię asynchronicznym silnikiem klatkowym zasilanym z falownika. Wartość maksymalną momentu zaczepowego zmierzono przy pomocy zrównoważonej dźwigni i precyzyjnych odważników.

Dokonano 10-ciu pomiarów w różnych położeniach wirnika i wyciągnięto średnią arytmetyczną. Jak wspomniano wcześniej średnia wartość momentu zaczepowego jest jak na maszynę wielobiegunową niewielka i wynosi 1,8 Nm, co stanowi 1,9 % momentu znamionowego. Zasilanie silnika napędowego przez falownik umożliwiło regulację prędkości obrotowej i wyznaczenie charakterystyki biegu jałowego generatora.

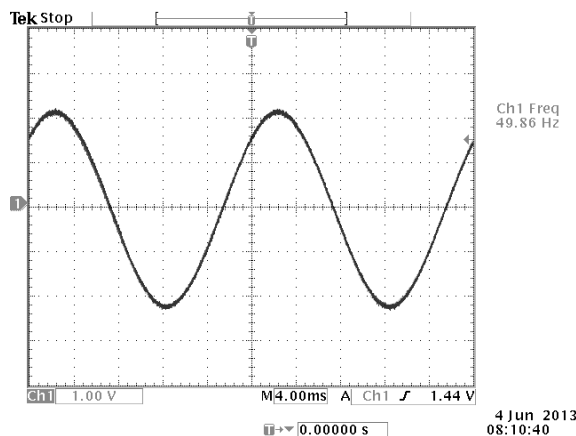


Rys. 4. Zależność napięcia wyjściowego od prędkości obrotowej

Charakterystyka obciążenia najlepiej obrazuje właściwości energetyczne generatora. Podczas jej wyznaczania badany generator obciążony był rezystancyjnie, symetrycznie w każdej fazie. Podczas tej próby ustalono prędkość obrotową 250 obr./min. i stopniowo obciążano generator. Wyniki pomiarów pokazuje rys. 5, a na rys. 6 pokazano kształt napięcia wyjściowego.



Rys. 5. Zależność napięcia wyjściowego od prądu obciążenia



Rys. 6. Kształt napięcia fazowego

### 5. Zabezpieczenie burzowe elektrowni

Przy wiatrach przekraczających prędkość 15 m/s turbiny wiatrowe o poziomej osi obrotu mogą osiągać wysokie prędkości obrotowe. Wówczas występują duże siły odśrodkowe zagrożające ich bezpieczeństwu. W małych elektrowniach wiatrowych z uwagi na duży koszt nie stosuje się mechanizmów zmiany kąta natarcia łopaty turbiny i dlatego też konieczne staje się stosowanie innych środków ochrony [4], [8]. W opracowanej elektrowni zastosowano dwa rodzaje zabezpieczeń. Pierwszym z nich jest zmiana położenia steru kierunkowego elektrowni. Realizowana jest ona przez siłownik elektryczny wychylający ster kierunkowy przy wietrze powyżej 15 m/s. Wówczas turbina wiatrowa ustawia się bokiem do kierunku wiatru, co powoduje jej zatrzymanie. Drugim zabezpieczeniem jest układ zwierania generatora przez rezystory o niewielkiej wartości.

### 6. Wnioski

Przedstawiona w pracy mała elektrownia wiatrowa może mieć zastosowanie np. do wspomagania układu centralnego ogrzewania w domu jednorodzinnym lub dzięki nowej ustawie o odnawialnych źródłach energii można uzyskaną energię zwracać do sieci energetycznej. Podczas badań terenowych w okresie od początku września do 15-go listopada 2015 elektrownia oddała do sieci 139 kWh energii, a maksymalna zarejestrowana moc wynosiła 2,4 kW. Nietypowe napięcie wyjściowe generatora założono ze względu na dopuszczalne napięcie wejściowe falownika. Autor opracowania od kilku lat testuje w tym samym miejscu różne typy elektrowni o poziomych i pionowych osiach obrotu. Prezentowane rozwiązanie jest najlepsze z dotychczas badanych pod

względem ilości energii uzyskiwanej z określonej powierzchni turbiny i najlepsze pod względem ekonomicznym. Brak akumulatorów gromadzących energię i oddawanie całej energii wytworzonej do sieci zmniejsza cenę elektrowni i skraca okres zwrotu nakładów inwestycyjnych. Wiarygodne dane można uzyskać przy rocznym testowaniu małej elektrowni i wydaje się, że jedynie roczna produkcja energii z m<sup>2</sup> turbiny posadowionej w tym samym miejscu pokazuje, która elektrownia jest obiektywnie najbardziej wydajna.

## 7. Literatura

- [1]. Boczar T.: Energetyka wiatrowa. Aktualne możliwości wykorzystania, Wydawnictwo SIMP 2008.
- [2]. Czuczman J., Czerepaniak M., Szur I., Gólbowski P.: Generatory synchroniczne do autonomicznych, bezprzekładniowych elektrowni wiatrowych, XII Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ustroń 18-20 maj, 2005.
- [3]. Glinka T.: Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [4]. Goryca Z.: Elektrownia wiatrowa o pionowej osi obrotu i mocy 3 kW, Wiadomości Elektrotechniczne nr 11, 2014 r.
- [5]. Goryca Z.: Wolnoobrotowa prądnica o mocy 3 kW do elektrowni wiatrowej lub wodnej, „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ryto 28-30 maj, 2014, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, zeszyt nr 101.
- [6]. Goryca Z., Malinowski M., Pakosz A.: Wielobiegunowa maszyna z magnesami trwałymi o zredukowanym momencie zaczepowym, Patent nr 218930.
- [7]. Goryca Z., Młodzikowski P.: Analiza konstrukcji bezprzekładniowych prądnic do małych elektrowni wiatrowych, Konferencja Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i Mechatroniki” PPEEm, Wisła 14-17.12.2009.
- [8]. Goryca Z., Ziółek M.: Elektrownia wiatrowa VAWT o mocy 1 kW z systemem zdalnego sterowania, Wiadomości Elektrotechniczne nr 1, 2014 r.
- [9]. Polak A., Bezański A.: Małe elektrownie wiatrowe-przykłady praktycznego zastosowania, XII Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ustroń 18-20 maj, 2005.
- [10]. Rossa R., Białas A.: Prądnica synchroniczna z magnesami trwałymi do przydomowych elektrowni wiatrowych, XX Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ryto 25-27 maj, 2011.

### Adres służbowy autora

dr hab. inż. Zbigniew Goryca prof. PŚk

Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Katedra Inżynierii Budowli i Energii Odnawialnych, ul. Aleja 1000-lecia Państwa Polskiego 7 25-314 Kielce, tel. +(48-41) 34-24-850 601-25-05-30, e-mail: tgoryca@kki.net.pl