

Zbigniew Goryca  
Politechnika Świętokrzyska, Kielce

## GENERATOR DO KONKURSU „WIELKIE WYZWANIE: ENERGIA”

### GENERATOR FOR THE "GREAT CHALLENGE: ENERGY"

**Streszczenie:** W pracy pokazano podstawowe obliczenia i konstrukcję generatora przeznaczonego do małej elektrowni wiatrowej będącej przedmiotem konkursu NCBiR „Wielkie wyzwanie: Energia”. Ograniczenia wymiarowe elektrowni narzucone w tym konkursie definiują moc generatora, zaś przyjęte rozwiązanie turbiny wiatrowej określa znamionową prędkość obrotową generatora. Napięcie wyjściowe generatora może być różne i zależy od typu ładowarki użytej do ładowania akumulatora i do zasilania pompy wody. Z uwagi na to, że NCBiR nie określił jeszcze szczegółowych danych dotyczących typu i pojemności akumulatora oraz typu, mocy i charakterystyki pompy do obliczeń uzwojenia przyjęto, że generator osiąga napięcie 24 V przy prędkości obrotowej 100 obr/min.

**Abstract:** The paper presents the basic calculations and design of a generator for a small wind power plant which is the subject of the National Centre's for Research and Development competition, "Great Challenge: Energy". The dimensions of the power plant specified in the competition define the generator power, and the adopted solution of the wind turbine determines the rated rotational speed of the generator. The output voltage of the generator may have different values. It depends on the type of charger used to charge the battery and supply the water pump. Since the National Centre for Research and Development has not yet provided detailed data on the type and capacity of the battery and the type, power and characteristics of the pump, the winding was calculated for the generator reaching 24 V at 100 rpm.

**Słowa kluczowe:** generator, elektrownia wiatrowa

**Keywords:** generator, wind power plant

### 1. Wstęp

Rozwinięte społeczeństwa przykładają coraz większą wagę do rozwoju odnawialnych, ekologicznie czystych źródeł energii [8]. Ostatnim działaniem NCBiR w tym zakresie było ogłoszenie konkursu „Wielkie Wyzwanie Energia”. Na grudniowym spotkaniu uczestników tego konkursu NCBiR ogłosiło wstępne założenia konkursu dotyczącego budowy małej elektrowni wiatrowej przeznaczonej do indywidualnych zastosowań. Budowana elektrownia ma wykorzystywać wiatry o małej prędkości charakteryzujące się dużą zmiennością i wiejące na niewielkich wysokościach. Elektrownia ma magazynować wytworzoną energię w akumulatorze i zasilac ją pompę wody. W założeniach konkurs ma wygrać to rozwiązanie, które zapewni maksymalną ilość przepompowanej wody. Określono wymiary całkowite elektrowni – 2x2x2 m, jej masę – 100 kg i poziom głośności – 45 dB. Niestety nie określono wielu niezbędnych do projektu danych, takich jak: typ i pojemność akumulatora, moc i charakterystyka pompy, zakres napięć wyjściowych generatora, zakres napięć zasilania pompy, a przede wszystkim charakterystyka wiatru (wykres

zmienności w czasie) niezbędny przy sprawdzaniu opracowanego prototypu elektrowni. Na obecnym etapie konkursu możliwe jest przyjęcie określonego rodzaju turbiny wiatrowej i określenie mocy i konstrukcji generatora współpracującego z turbiną.

### 2. Konstrukcja generatora

Podstawowym problemem przy projektowaniu takiej elektrowni jest wybór typu turbiny wiatrowej. Turbiny VAWT charakteryzują się cichą pracą, nie trzeba w nich stosować mechanizmów naprowadzających na wiatr i nie trzeba stosować pierścieni ślizgowych do odprowadzania energii elektrycznej. Ich podstawową wadą jest jednak mały współczynnik wykorzystania wiatru – praktycznie dwukrotnie mniejszy niż w turbinach HAWT i mniejsza prędkość obrotowa, co wiąże się bezpośrednio ze zwiększeniem wymiarów i masy generatorów współpracujących z turbinami VAWT. Przy „rozliczaniu” elektrowni z ilości uzyskanej energii jedynym sensownym rozwiązaniem jest zastosowanie turbiny wiatrowej HAWT. Doświadczenia autora zdobyte z budowy elektrowni

HAWT o średnicy 2,5 m wskazują, że prędkość obrotowa turbiny o średnicy 2 m przy wietrze o prędkości 12 m/s (dla takiej prędkości definiuje się moc małych elektrowni wiatrowych) może wynosić 600 obr/min. Zatem moc generatora zastosowanego do współpracy z taką turbiną wyniesie:

$$P = c_p \rho S V^3$$

gdzie:

$P$  – moc turbiny w W

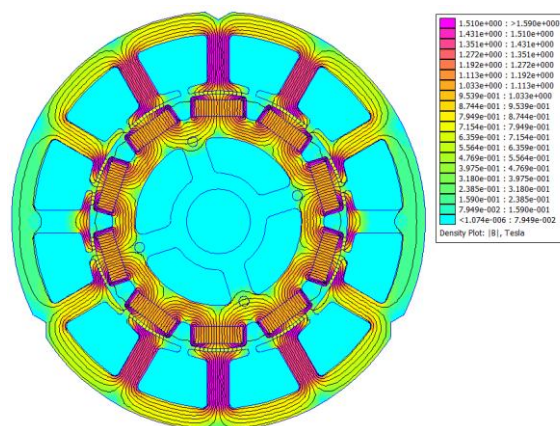
$c_p$  – współczynnik wykorzystania wiatru

$\rho$  – gęstość powietrza  $\text{kg/m}^3$

$S$  – powierzchnia turbiny wystawiana na wiatr  $\text{m}^2$

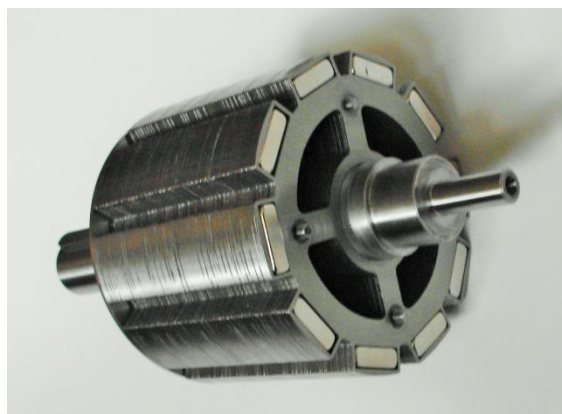
$V$  – prędkość wiatru m/s

Dla dobrze zaprojektowanej turbiny wiatrowej o poziomej osi obrotu współczynnik wykorzystania wiatru może wynosić 0,35. Dla tej wartości i wiatru o prędkości 12 m/s moc turbiny o średnicy 2 m wynosi około 2 kW. Z uwagi na niezwykle rzadkie występowanie tak silnych wiatrów na małej wysokości i możliwość chwilowego przeciążenia do obliczeń przyjęto moc 1 kW. Ta wartość oraz prędkość obrotowa na poziomie 600 obr/min i napięcie wyjściowe na poziomie 20 V są wielkościami wyjściowymi do obliczeń generatora. W przypadku generatorów współpracujących z turbinami wiatrowymi istotnym parametrem jest wartość momentu zaczepowego decydująca o starcie turbiny. Wprawdzie energia uzyskiwana z wiatrów o niskiej prędkości jest niewielka, ale turbina rozpoczynająca pracę przy słabych wiatrach ma duże znaczenie psychologiczne często decydujące przy zakupie elektrowni określonego typu. Literatura dotycząca momentu zaczepowego jest bogata [2], [4], [5], [6], [7] i co-rocennie wzrasta liczba publikacji dotyczących tego parametru maszyn wzbudzanych magnesami trwałymi. Obliczenia obwodu magnetycznego generatora można przeprowadzać klasycznymi metodami [1], [2], [3], [12] lub w oparciu o metody elementów skończonych [9], [10], [11]. Przy projektowaniu generatora do wspomnianego projektu wykorzystano ogólnodostępny program FEMM 4.2. Obliczono w nim rozkład indukcji, moment zaczepowy i moment elektromagnetyczny maszyny. Na rys. 1 pokazano obwód magnetyczny zaprojektowanego generatora i przykładowy rozkład pola magnetycznego w wybranym położeniu wirnika.



Rys. 1. Obwód magnetyczny generatora i przykładowy rozkład pola magnetycznego

Największa wartość indukcji występuje w zębach stojana i wartość ta nie przekracza 1,6 T. Jarzmo stojana można jeszcze zmniejszyć lecz pozostawiono je bez zmian ze względów wytrzymałościowych. W wirniku generatora przyjęto rozwiązanie z prostopadłościennymi, neodymowymi magnesami zagłębionymi. Ułatwia to znakomicie montaż magnesów i zmniejsza koszt wykonania wirnika, gdyż standardowe magnesy prostopadłościenne są około dwa razy tańsze od magnesów kształtowych przyklejanych do wirników w wielu rozwiązaniach. Dodatkowym atutem takiej konstrukcji wirnika jest brak możliwości odklejenia magnesów i związanych z tym awarii generatora. Główne elementy wykonanego prototypu generatora pokazane są na poniższych rysunkach. Blachy stojana i wirnika wykonane były metodą cięcia laserowego (laser FIBER).



Rys. 2. Wirnik generatora z zagłębionymi magnesami trwałymi



Rys. 3. Stożak generatora z cewkami skupionymi

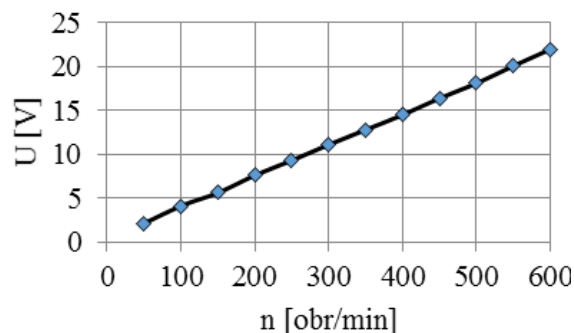


Rys. 4. Widok prototypowego generatora

### 3. Badania układu

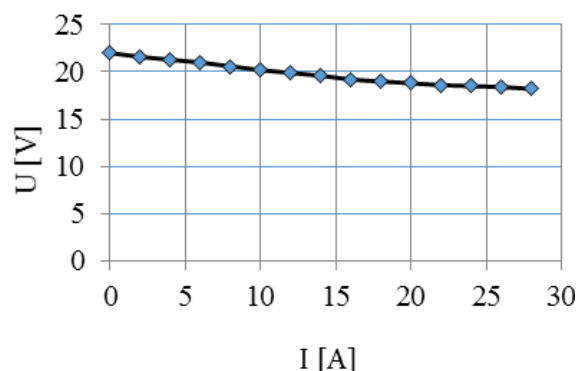
Przeprowadzono podstawowe badania laboratoryjne prototypowego generatora – obejmowały one pomiary: momentu zaczepowego, napięcia biegu jałowego w funkcji prędkości obrotowej oraz napięcia wyjściowego w funkcji obciążenia przy prędkości znamionowej. Badany generator napędzany był przez przekładnię asynchronicznym silnikiem klatkowym zasilanym z falownika. Wartość maksymalną momentu zaczepowego zmierzono przy pomocy zrównoważonej dźwigni i precyzyjnych odważników. Dokonano 12-tu pomiarów w różnych położeniach wirnika i wyciągnięto średnią arytmetyczną. Jak wspomniano wcześniej średnia wartość momentu zaczepowego jest jak na maszynę wielobiegunową niewielka i wynosi 0,24 Nm, co stanowi 1,5 % momentu znamionowego. Zasilanie silnika napędowego

przez falownik umożliwiło regulację prędkości obrotowej i wyznaczenie charakterystyki biegu jałowego generatora.

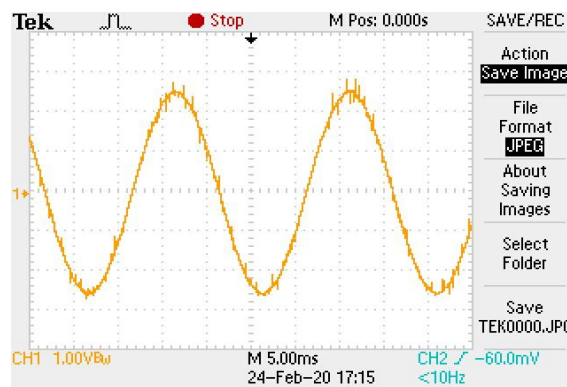


Rys. 4. Zależność napięcia wyjściowego od prędkości obrotowej

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 600 obr./min. i stopniowo obciążano generator. Wyniki pomiarów pokazane są na rys. 5, na rys. 6 pokazano kształt napięcia wyjściowego generatora.



Rys. 5. Zależność napięcia wyjściowego od prądu obciążenia



Rys. 6. Kształt napięcia wyjściowego generatora

#### 4. Wnioski

Przedstawiony w pracy generator przeznaczona jest do współpracy z turbiną wiatrową o poziomej osi obrotu a jego łożyskowanie umożliwia umocowanie turbiny wiatrowej bezpośrednio na wale generatora. Mała elektrownia wiatrowa z tym generatorem może mieć zastosowanie np. w prosumenckich rozliczeniach energii pobieranej przez dom jednorodzinny. Opracowany generator ma mały moment zaczepowy przy prostych żłóbkach stojana i prostych magnesach. Dzięki temu elektrownia wiatrowa startować będzie już przy słabych wiatrach. Kształt napięcia wyjściowego praktycznie nie odbiega od sinusoidy.

#### Literatura

- [1]. Binder A., Schneider T.: *Permanent magnet synchronous generators for regenerative energy conversion - asurvey*, 11th European Conference on Power Electronics and Applications proceedings, Dresden 2005.
- [2]. Chapman S. J. : *Electric machinery Fundamentals*, New York: McGraw-Hill, 2012.
- [3]. Glinka T.: *Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi*, ISBN 978—83-01-19793-3. Wydawnictwo WNT 2018
- [4]. Gieras J., Wing M.: *Permanent Magnet Motor Technology. Design and applications*. Marcel Dekker 2002.
- [5]. Goryca Z., Malinowski M., Pakosz A.: *Wielobiegunowa maszyna z magnesami trwałymi o zredukowanym momencie zaczepowym*, Patent nr 218930.
- [6]. Goryca Z., Kwolek W.: *Wolnoobrotowy generator do małej elektrowni wodnej*, „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Rytro 28-30 maj, 2014, Zeszyty Problemowe, Maszyny Elektryczne zeszyt nr 101, s.39-42.
- [7]. Goryca Z., Różowicz S.: *Generator zwłaszcza do mikroelektrowni wodnej*, wzór użytkowy nr W.127027.
- [8]. Malko J., *Mała hydroenergetyka w perspektywicznej strukturze energii Unii Europejskiej*, Energetyka, Katowice, Oficyna Wydawnicza ENERGIA, 2009, luty 2009
- [9]. Mazgaj W., Szular Z., Tomasz Węgiel T., Sobczyk T.: *Small Hydropower Plant with variable speed PM generator*, Przegląd Elektrotechniczny nr 5/2011.
- [10]. Rossa R., Król E.: *Modern electric machines with permanent magnet*, Przegląd lektrotechniczny nr 12/2008.
- [11]. Chun-Yu H., Sheng-Nian Y., Jonq-Chin H.: *Design of High Performance Permanent-Magnet Synchronous Wind Generators*, Energies 7 (11):7105-7124, November 2014.
- [12]. Kostro G., Michna M., Kutt F., Ronkowski M.: *Low speed permanent magnet synchronous generator for vertical axis wind turbine*, Sympozjum Maszyn Elektrycznych SME 2017, s. 1-5.

#### Autor

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](mailto:tgoryca@kki.net.pl)