

Mariusz Filipowicz, Maciej Kaliski, Grzegorz Basista, Szymon Podlasek, Adam Szurlej, AGH w Krakowie;
Leszek Łazarczyk, Tomasz Mendrella, Krzysztof Krukar, Green Energy Technologies sp. z o.o.

Wybrane problemy małej energetyki wiatrowej

w aspekcie budowy rozproszonego systemu energetycznego

Mając na uwadze poważne problemy ze zbilansowaniem krajowego zapotrzebowania na energię elektryczną w sierpniu 2015 r., wydaje się, że dalszy rozwój mikroinstalacji prosumenckich może być jednym z pożądanych kierunków rozwoju sektora energetycznego, który będzie minimalizować w przyszłości wystąpienie sytuacji kryzysowych.

■ Rozwój wykorzystania OZE

W ciągu ostatnich lat obserwuje się dynamiczny wzrost znaczenia udziału energii elektrycznej wytworzonej z OZE w bilansach zużycia energii elektrycznej zarówno w UE, jak i w Polsce. W przypadku UE ten wzrost w latach 2006-2012 zwiększył się z 15,4 do 23,5%, a w Polsce z 2,8 do 10,6% [1]. Dynamicznemu wzrostowi wykorzystania OZE w produkcji energii elektrycznej towarzyszyły zmiany w strukturze znaczenia poszczególnych technologii energetycznych bazujących na OZE w Polsce. O ile jeszcze do 2006 r. elektrownie wodne wytwarzały największą tzw. zieloną ener-

gii, to od 2007 r. największą zieloną energię powstaje na bazie biomasy, w tym na drodze współspalania z węglem [2]. W ostatnich latach także można zauważyć przyrost mocy zainstalowanej w elektrowniach wiatrowych, czemu towarzyszy wzrost produkcji energii elektrycznej z tych jednostek: 2008 r. - 0,836 TWh, 2012 r. - 4,746 TWh i 2014 r. - 7,184 TWh [3]. Mając na uwadze cele europejskiej i krajowej polityki energetycznej oraz obowiązujące regulacje prawne należy spodziewać się dalszego rozwoju wykorzystania OZE w produkcji energii elektrycznej. Warto także dodać, że w ciągu ostatnich lat zauważalny jest wzrost liczby prosumenów - tylko w 2014 r. przybyło 535 nowych mikro-

instalacji prosumenckich, które wytworzyły 0,949 TWh energii elektrycznej, z czego 0,796 TWh zostało skierowane do sieci. Większość tej energii została wytworzona w instalacjach fotowoltaicznych. Jednym z najbardziej dynamicznie rozwijających się działów OZE jest energetyka wiatrowa. Rozwój tutaj dokonuje się szczególnie dla dużych jednostek i farm wiatrowych. Odbywa się to dzięki instalowaniu coraz to większych zespołów turbin wiatrowych (parków wiatrowych). Moc zainstalowana w parku wiatrowym może być rzędu setek MW, a moc pojedynczej turbiny osiąga już wielkość 8 MW [4]. Wraz ze wzrostem mocy rosną rozmiary turbin, są to już potężne konstrukcje o wysokości wieży znacznie ponad 100 m i długości łopaty do 80 m. I tutaj zaczynają się pojawiać coraz większe problemy. Możemy je sklasyfikować następująco [5]:

- praca dużych turbin zależy silnie od warunków wiatrowych, produkcję energii rozpoczynają przy prędkości wiatru ok. 5 m/s, a przy prędkości powyżej 20 m/s trzeba je wyłączyć ze względów bezpieczeństwa,

- duże turbiny potrzebują sporo niezabudowanego terenu,
- pojawiają się głosy o „wizualnym zanieczyszczeniu środowiska”, czyli po prostu o „psuciu krajobrazu”,
- uciążliwy jest szum łopat, końcówki których poruszają się z prędkością nawet kilkuset kilometrów na godzinę wytwarzając w ten sposób szum,
- obrońcy przyrody donoszą o zagrożeniu dla ptaków czy np. nietoperzy.

Potrzeba przewyciężenia tych problemów, a zarazem chęć dalszego rozwoju energetyki wiatrowej spowodowała wzrost zainteresowania stosowaniem małych turbin wiatrowych, często o konstrukcji z pionową osią, które nie stwarzają wyżej wymienionych problemów [6].

■ Małe turbiny o osi pionowej

Istnieje szereg rozwiązań konstrukcyjnych małych turbin wiatrowych o osi pionowej, często o fantazyjnych kształtach [7]. Można przyjąć, że moc tych turbin wynosi od kilkuset watów do ok. 50 kW [9]. Turbiny takie posiadają szereg zalet w porównaniu do swoich większych odpowiedników, można tu wymienić m.in. [7] [8]:

- łatwość instalacji małych turbin wiatrowych, w tym możliwość instalacji w miejscach szczególnie trudno dostępnych,
- zredukowane „zanieczyszczenie wizualne” i akustyczne,
- możliwość instalacji w terenie zabudowanym,
- możliwość pracy w miejscach relaksu (ośrodki wypoczynkowe), w miejscach atrakcyjnych turystycznie, chronionych itp.,
- w przypadku odizolowanych stanowisk stanowią one konkurencję do generatorów diesla, paneli fotowoltaicznych,
- niewrażliwość na zmiany kierunku wiatru,
- możliwość instalacji generatora i je-

go osprzętu przy podstawie turbiny, co znacznie ułatwia serwisowanie.

Szereg firm podjęło to wyzwanie i z powodzeniem opracowało i wprowadziło na rynek swoje produkty. Także polskie przedsiębiorstwa, m.in. we współpracy z uczelniami wyższymi starają się wejść na ten rynek. Obecnie w celu wdrożenia produktu na rynek musi on cechować się wysoką sprawnością, w tym efektywnością wykorzystania nawet słabych wiatrów. Konstrukcje tworzone są w oparciu o zaawansowane metody, m.in. modelowanie numeryczne, czy badania z wykorzystaniem tuneli wiatrowych z zaawansowanymi systemami akwizycji i przetwarzania danych. Konstruktorzy ciągle jednak napotykają szereg problemów - jednym z nich jest dobór jak najlepszego generatora elektrycznego.

■ Dobór generatora elektrycznego

Ścisłe związaną kwestią techniczną z wykorzystaniem małych turbin wiatrowych jest dobór generatora elektrycznego. Z racji niewielkich mocy turbiny należy dość starannie dobrać taki generator - nawet niewielkie straty będą rzutować znacznie na opłacalność takiej inwestycji. Na rynku brakuje konstrukcji, które mogłyby być stosowane bez problemów w MTW, wymagana jest optymalizacja konstrukcji takiego generatora (najczęściej wytworzenie dedykowanej jednostki), czy też optymalizacja połączenia takiego generatora z turbiną (np. dobór odpowiedniej przekładni).

W celu sprawdzenia pracy różnych generatorów z wybraną turbiną wiatrową przeprowadzono testy obejmujące pięć wybranych generatorów.

■ Badania porównawcze generatorów elektrycznych

W ramach porównania wykonano badania porównawcze pięciu wybranych generatorów mogących mieć zastosowanie w rozważanej konstrukcji turbiny wiatrowej (rys. 1).

Turbina stanowi oryginalną konstrukcję firmy GET, konstrukcja chroniona jest zgłoszonym do ochrony wynalazkiem: P.412327 i P.412328. Zastosowano tu oryginalne rozwiązania koła łopatkowego i zintegrowanego z nim zestawu kierownic.

Konstrukcja stanowiska pomiarowego umożliwiła szybki montaż generatorów o różnych rozmiarach, masie i średnicy wału.

Podstawowe charakterystyki przebadanych generatorów zawarto w tab. 1.

Generatory umieszczone były na specjalnym stanowisku umożliwiającym ich stabilny montaż i łatwe sprzęgnięcie z wirnikiem turbiny za pomocą koła pasowego. Na wale turbiny znajdowały się koła pasowe o trzech różnych średnicach (rys. 2).

Odpowiednie koła pasowe zamocowane były na wale generatora. Umożliwiło to badanie generatora dla kilku wybranych przekładni.

W skład stanowiska pomiarowe-

Tab. 1. Podstawowe charakterystyki generatorów

Lp.	Typ	Moc [kW]	Kraj produkcji	Inne uwagi
G1	Szybkoobrotowy, 1800 obr./min	1.8	Chiny	Komercyjny
G2	Średnioobrotowy 600 obr./min	2.0	Polska	Konstrukcja amatorska (dedykowana do MEW)
G3	Wolnoobrotowy 400 obr./min	2.0	Polska	Konstrukcja amatorska
G4	Szybkoobrotowy 700 obr./min	3.0	Włochy	Komercyjny (stosowany w HAWT)
G5	Wolnoobrotowy 358 obr./min	1.0	Polska	Konstrukcja półprofesjonalna

go wchodziło sztuczne (elektroniczne) obciążenie o maksymalnej odbieranej mocy do 2.4 kW. Prąd z generatorów prostowany był za pomocą dwupołkowego trójfazowego prostownika i wygładzany za pomocą baterii kondensatorów elektrolitycznych. Pomiar odbywał się za pomocą ustalania prądu płynącego przez obciążenie lub nastawy rezystancji obciążenia. Odczytywane i zapisywane były wartości napięcia, prądu, mocy i rezystancji dla każdego punktu pomiarowego. Najczęściej prąd obciążenia zmieniany był od wartości 0 A do maksymalnej możliwej - tj. do wartości przy której następowało zatrzymanie turbiny. W celu uniknięcia gwałtownych zmian obciążenia mogących skutkować dużą zmianą prędkości obrotowej turbiny krok zmiany prądu wynosił 0.1 A. Rejestrowane była również prędkość obrotowa turbiny. Przepływ powietrza napędzający turbinę wytwarzany był za pomocą specjalnej dmuchawy. Uzyskiwano liniową prędkość wiatru równą ok. 15 m/s.

Dla każdego z generatorów otrzymano szereg krzywych: napięcie i moc w funkcji aktualnych obrotów turbiny oraz charakterystyki moc-napięcie, moc-prąd i prądowo-napięciową dla zastosowanych wartości przekładni.

Zbiórcze podsumowanie tego bogatego zestawu wyników przedstawiono na rys. 3.

Dla każdego generatora wybrano przekładnię dla której osiągał najlepsze parametry.

Widoczna jest różnica pomiędzy generatorami wolno (nr 3 i 5), średnio (1 i 4) i szybkoobrotowymi (2). Optymalne obroty dla generatorów 3 i 5 wynoszą ok. 180 obr./min, dla 1 to ok. 270 obr./min, dla 4 - 380 obr./min, a dla 2 ok. 650 obr./min. Dla wszystkich generatorów widoczne jest, że po przekroczeniu optymalnych obrotów moc dość szybko spada.

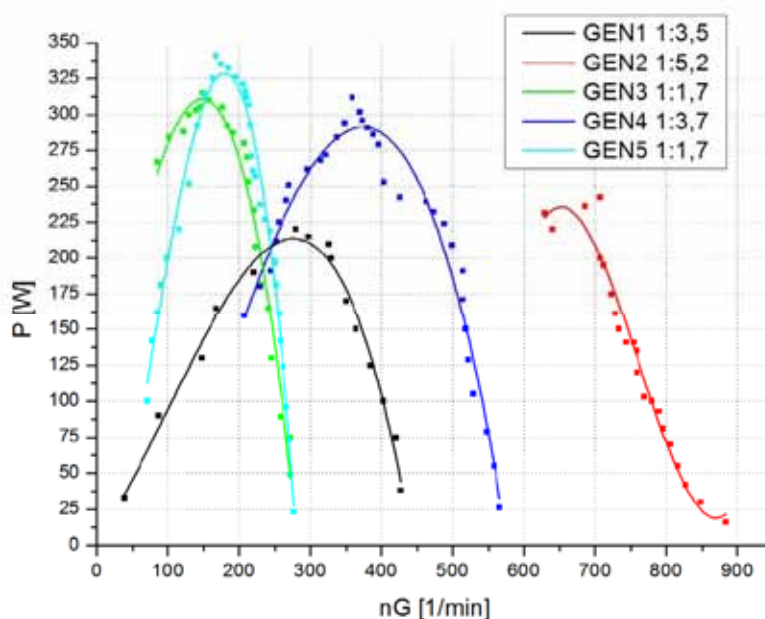
Dla generatora, który osiągnął najlepsze wyniki (nr G5) przedstawiono zestawienie charakterystyk dla analizowanych przekładni i połączeń elektrycznych (rys. 4 i 5).



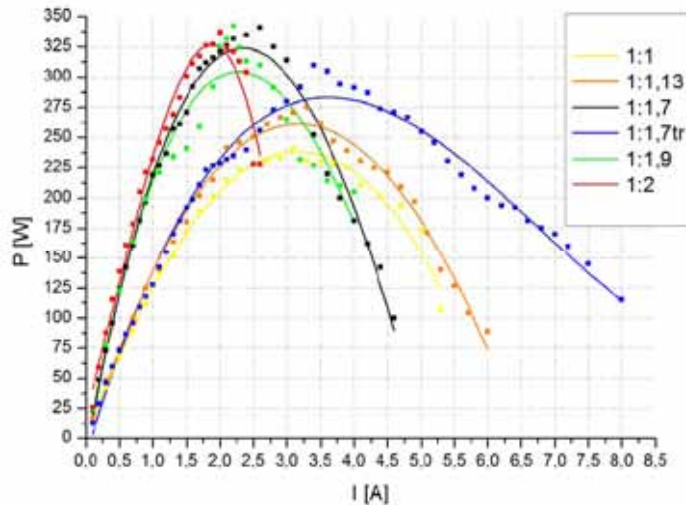
Rys. 1. Widok badanej turbiny na stanowisku pomiarowym wraz z generatorem wiatru



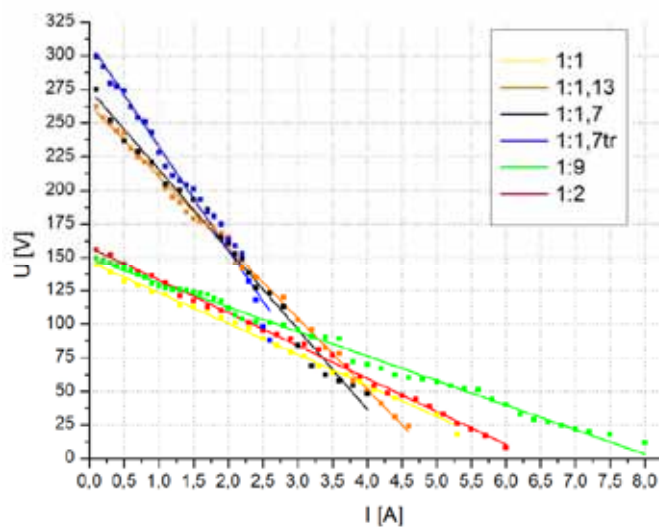
Rys. 2. Zdjęcie generatora G4 na stanowisku pomiarowym



Rys. 3. Porównanie mocy w funkcji obrotów dla badanych generatorów. Oznaczenie zgodnie z tab. 1. W legendzie podano również wartość optymalnej przekładni



Rys. 4. Charakterystyki moc-prąd dla generatora nr G5



Rys. 5. Charakterystyki napięcie-prąd dla generatora nr G5

Z rys. 4 i 5 widać jak duże znaczenie ma przekładnia zwiększająca obroty. Dla niewielkich przekładni dostajemy generację mocy dla szerokiego zakresu poboru prądu z generatora (do 6-ciu amperów) dla przekładni 1:1, czy 1:1.3. Natomiast zwiększając przełożenie, uzyskujemy większą moc wskutek zwiększenia obrotów na wale generatora, ale jak np. dla przekładni 1:2 nie było możliwe obciążenie generatora prądem większym niż 2.5A - następowało nagłe zatrzymanie turbiny. Również widoczne jest, że napięcie dla dużych przekładni spada szybciej ze wzrostem poboru prądu niż dla małych przekładni.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że właściwy dobór generatora stanowi sprawę kluczową dla takich konstrukcji. Należy przede wszystkim określić, dla jakich obrotów turbiny będzie się odbywała jej efektywna praca. Tu oczywiście znaczenie ma nie tylko sama konstrukcja turbiny, ale parametry wiatru w rozpatrywanej lokalizacji. Ważne jest również w jakim systemie energetycznym będzie pracowała taka turbina, jaka będzie wartość obciążenia, oraz czy uda się realizować inteligentne obciążanie tur-

biny, aby uniknąć gwałtownego zwiększenia/zmniejszenia poboru mocy (np. wskutek zachowań użytkowników i braku układu magazynowania energii, czy inteligentnego sterownika). Dopiero dokładna znajomość warunków wietrzności, charakterystyk turbiny, parametrów zasilanego obiektu, zachowań użytkowników i innych ważnych charakterystyk umożliwi zbudowanie optymalnego systemu energetycznego o małej mocy i zapewnienie właściwych warunków pracy takim jednostkom - zwłaszcza w lokalizacjach, gdzie te warunki wietrzności są silnie zmienne. □

Podziękowania

Praca wykonana w ramach zlecenia badawczego firmy GET z Wodzisławia Śląskiego.

Literatura

1. Główny Urząd Statystyczny 2014: *Energia ze źródeł odnawialnych*. Warszawa.
2. Mokrzycki E., Szurlej A., Skoczek A., 2004: *Energetyka wodna jako podstawowe odnawialne źródło energii elektrycznej*. *Polityka Energetyczna*, t. 7, s. spec., s. 463-481.
3. *Polskie Siecie Elektroenergetyczne 2015: Miesięczne raporty z funkcjonowania Krajowego Systemu Elektroenergetycznego i Rynku Bilansującego*. www.pse.pl.
4. <http://www.windpowermonthly.com/10-biggest-turbines>.
5. Filipowicz M., 2004: *Małe turbiny wiatrowe : co na to Don Kichot?*, *Nafta & Gaz Biznes*, nr 4 s. 62-64.
6. Sornek K., Rzepka K., Mirowski T., 2015: *Uwarunkowania środowiskowe projektowania budynków energooszczędnych i pasywnych - wybór lokalizacji inwestycji oraz możliwość wykorzystania energii wiatru*. *Rynek Instalacyjny* nr 4, s. 50-53.
7. Wolańczyk F., 2013: *Elektrownie Wiatrowe*, Wydawnictwo KaBe, Krosno.
8. Jha A.R., 2011: *Wind Turbine Technology*, CRC Press.
9. Gumuła S., Knap T., Strzelczyk P., Szczerba Z., 2006: *Energetyka Wiatrowa, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2006*.