

Wojciech Radziewicz
Politechnika Opolska, Opole

NOWOCZESNE ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE TURBIN WIATROWYCH MAŁEJ MOCY

MODERN CONSTRUCTIONAL SOLUTIONS OF SMALL WIND TURBINES

Streszczenie: W skali globalnej wzrasta produkcja energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. Wzrost mocy zainstalowanej w elektrowniach wiatrowych na świecie sięga średnio około 15% rocznie. Oprócz budowy dużych farm wiatrowych obecnie obserwujemy dynamiczny rozwój małej energetyki wiatrowej. Prognozy ponadinflacyjnego wzrostu cen energii oraz przyjęcie ustawy o OZE promującej mikro i małe źródła energii, a także wzrost zainteresowania na rynku energetyki prosumenckiej mogą przyczynić się do bardzo dynamicznego rozwoju małej energetyki wiatrowej w Polsce w najbliższym czasie. Artykuł stanowi przegląd wybranych nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych małych turbin: o poziomej i pionowej osi obrotu, z dyfuzorem, typu swift oraz o nietypowych konstrukcjach. Artykuł obejmuje także zagadnienia związane z opłacalnością budowy małych turbin wiatrowych oraz konieczności wsparcia podejmowanej decyzji inwestycyjnej przez dedykowane oprogramowanie umożliwiające wykonanie analizy efektywności ekonomicznej i analizy ryzyka.

Abstract: Considering globally energy production coming from renewable energy sources grows each year. New installed capacity in wind power plants increases approximately 15% per year worldwide. Apart from building large wind power plants dynamic development of small wind energy can be observed. Predictions of over inflation energy prices grow and passing enacted a new law about renewable energy sources that promotes micro and small energy sources and grow of market interesting about prosumer energy may all contribute to dynamic development of small wind energy in Poland soon. This document constitutes a review of chosen modern constructions of small wind turbines with: horizontal and vertical axis, diffuser, swift type and untypical ones. It includes also an issue connected with profitability of building small wind turbine along with necessity of making a decision about the investment that needs to be helped by dedicated software with possibility of making effectiveness analysis and risk analysis.

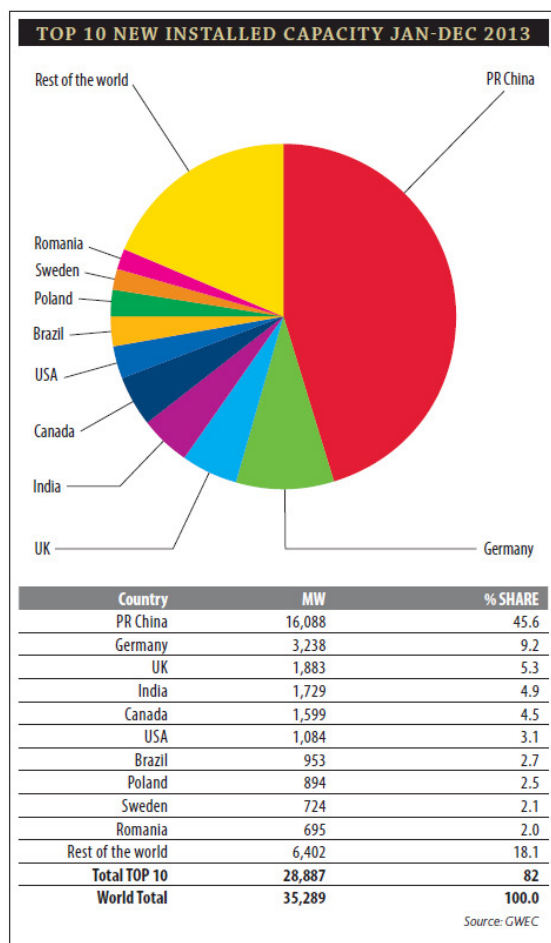
Słowa kluczowe: mała energetyka wiatrowa (MEW), energetyka prosumencka, nowoczesne konstrukcje MEW
Keywords: small wind energy (SWE), prosumer energy, modern constructions of SWE

1. Wstęp

Od kilkunastu lat w skali całego globu obserwujemy dynamiczny wzrost produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. Bardzo intensywnie rozwija się energetyka wiatrowa. Według [8] na koniec roku 2013 zainstalowano na całym świecie ponad 318 GW mocy w elektrowniach wiatrowych.¹ W odniesieniu do roku 2012 wzrost ten stanowi przyrost mocy w źródłach wiatrowych wynoszący 12,57%. Najwięcej źródeł wiatrowych w roku 2013 zainstalowano w Chińskiej Republice Ludowej (16 088 MW). Także w Polsce trwa intensywny rozwój energetyki wiatrowej [1], czego dowodem jest fakt, iż Polska znalazła się na ósmym miejscu wśród krajów inwestujących w ener-

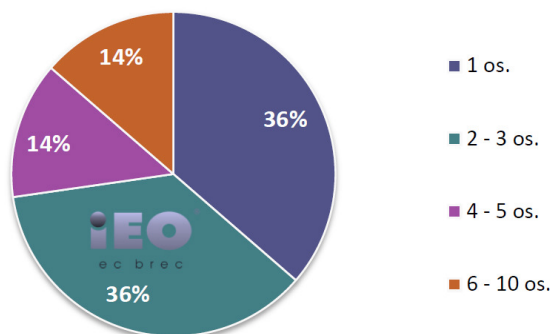
tykę wiatrową w roku 2013 ujawniając wzrost mocy zainstalowanej o 894 MW w odniesieniu do roku poprzedniego. Należy zwrócić uwagę, że wzrost mocy zainstalowanej w energetyce wiatrowej dotyczy przede wszystkim dużych turbin wiatrowych, a dane i statystyki obejmujące mikroźródła są najczęściej niepełne. Spowodowane jest to przede wszystkim faktem, że rynek małych elektrowni wiatrowych obejmuje producentów będących małymi przedsiębiorstwami, a dane dotyczące ich produkcji oraz sprzedaży nie są raportowane zbiorczo. W raporcie założono, że w Polsce do 2020 roku zostanie sumarycznie zainstalowane 550 MW mocy pochodzącej z małych turbin wiatrowych, co stanowi odpowiednik około stu tysięcy instalacji [2].

¹ Statystyki dotyczące mocy zainstalowanej w energetyce wiatrowej na koniec roku 2014 są niedostępne w czasie redakcji tego artykułu



Rys. 1. Wzrost mocy zainstalowanej w energetyce wiatrowej w roku 2013 [8]

Pierwszy w Polsce raport dotyczący rynku małych elektrowni wiatrowych został opublikowany przez Instytut Energetyki Odnawialnej w roku 2011, który zidentyfikował w Polsce 142 firmy działające w sektorze małej energetyki wiatrowej (MEW) w zakresie produkcji małych elektrowni wiatrowych lub wyłącznej ich dystrybucji od firm zagranicznych obecnych w Polsce.



Rys. 2. Struktura zatrudnienia w sektorze małej energetyki wiatrowej [2]

2. Możliwości rozwoju małej energetyki wiatrowej w Polsce

Rozwój polskiej małej energetyki wiatrowej jest zdeterminowany regulacjami obejmującymi uwarunkowania ekonomiczne w sposobie dopłat do energii ze źródeł odnawialnych oraz uwarunkowaniami formalno- prawnymi przy uzyskaniu koncesji na produkcję energii elektrycznej.

16 stycznia 2015 r. Sejm RP uchwalił ustawę o odnawialnych źródłach energii (OZE), która wprowadza nowe zasady wspierania energii wytwarzanej ze źródeł odnawialnych [9]. Dla małej energetyki wiatrowej w zakresie działalności prosumenckiej i dla instalacji o mocy poniżej 40 kW nie będzie już potrzebne uzyskanie koncesji ani konieczność prowadzenia działalności gospodarczej. Nadwyżkę energii prosument będzie mógł odsprzedać do sieci po korzystnych cenach, a wsparcie w zakresie obowiązku zakupu energii z OZE wyniesie 15 lat od dnia oddania instalacji do użytku. Zmiany, które wprowadził ustawodawca mogą przyczynić się do wzrostu zainteresowania inwestowaniem w energetykę wiatrową małej mocy.

Możliwości rozwoju małej energetyki wiatrowej w Polsce w oparciu o rynek energetyki prosumenckiej wystąpić mogą w 3 segmentach [3]:

- a) prosumenckie instalacje elektryczne:
 - 10 tys. nowych domów budowanych rocznie i 6 mln domów do modernizacji,
 - 120 tys. wspólnot mieszkaniowych (budynków mieszkalnych),
 - 14 tys. szkół podstawowych, 6 tys. gimnazjów, 11 tys. szkół ponadgimnazjalnych, 750 szpitali, 2,5 tys. urzędów miast i gmin,
 - 115 tys. gospodarstw rolnych małotwarowych i 105 tys. gospodarstw rolnych „socjalnych”.
- b) prosumencka inteligentna sieć energetyczna:
 - 18 tys. spółdzielni mieszkaniowych i 130 osiedli deweloperskich,
 - 43 tys. wsi,
 - 1600 gmin wiejskich i 500 gmin wiejsko- miejskich,
 - 400 miast.
- c) autogeneracja w przedsiębiorstwach:
 - 1,6 mln przedsiębiorców,

- 3,5% krajowego zużycia energii elektrycznej należy do PKP Energetyka,
- ok. 50% krajowego zużycia energii elektrycznej należy do przemysłu.

Według [4] szczególnie duże zainteresowanie małą energetyką wiatrową przejawiają rolnicy, a także inwestorzy indywidualni, którzy podczas prowadzonej działalności konsumują duże ilości energii elektrycznej. Czynnikiem kluczowym przy podjęciu decyzji o inwestowaniu w źródło tego typu jest aspekt ekonomiczny.

3. Wybrane nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne turbin wiatrowych małej mocy

Turbiny wiatrowe małej mocy można podzielić na dwa główne segmenty [5]:

- ze względu na moc zainstalowaną:
 - mikroelektrownie wiatrowe - o mocy poniżej 100 W,
 - małe elektrownie wiatrowe - o mocy od 100 W do 50 kW,
 - duże elektrownie wiatrowe - o mocy powyżej 50 kW.
- ze względu na położenie osi obrotu wirnika:
 - Typu HAWT (ang. *Horizontal Axis Wind Turbines*) - z poziomą osią obrotu,
 - Typu VAWT (ang. *Vertical Axis Wind Turbines*) - z pionową osią obrotu.

Według [2] na polskim rynku dominują turbiny wiatrowe małej mocy o poziomej osi obrotu produkcji krajowej oraz produkty importowane z kilkunastu krajów, najczęściej: z USA, krajów azjatyckich, Niemiec, Holandii, Wielkiej Brytanii i Hiszpanii.

Oprócz klasycznych rozwiązań trójłopatowych z poziomą osią obrotu, dostępne są także na rynku małe turbiny wiatrowe o nowoczesnych oraz innowacyjnych rozwiązaniach konstrukcyjnych.

3.1. Mała turbina wiatrowa z dyfuzorem

Dyfuzor w energetyce wiatrowej jest wykorzystywany do zwiększenia sprawności turbiny. Jest to kanał przepływowy o rosnącym przekroju poprzecznym (najczęściej stożkowym) w wyniku czego następuje spowolnienie przepływu powietrza, co odpowiada przemianom energii kinetycznej strumienia w energię ciśnienia (wzrost ciśnienia).

Przykładem wykorzystania dyfuzora jest mała turbina wiatrowa SWT-15-pro marki Sylwan. Do najważniejszych parametrów technicznych należą: moc znamionowa 15 kW, średnica wirnika 5,2 m, maksymalna średnica dyfuzora 8,5 m, dyfuzor samonastawny pod wiatr, prądnicą trójfazowa synchroniczna na magnesach neodymowych, wysokość do osi wirnika 15 m [10].



Rys. 3. Mała turbina wiatrowa 15 kW z dyfuzorem SWT-15-pro [10]

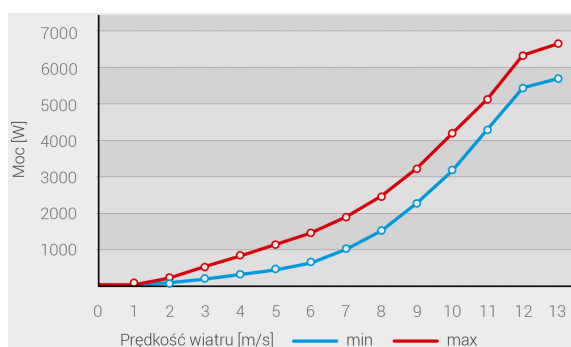
Zaletą tego rozwiązania jest zwiększenie sprawności turbiny poprzez wytworzenie wewnątrz podciśnienia dzięki zastosowaniu dwustopniowego dyfuzora, a także zapewnienie cichej pracy urządzenia.

3.2. Turbina wiatrowa 4 kW o pionowej osi obrotu

Turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu często używane są w lokalizacjach, gdzie wymagany jest niski poziom hałasu urządzenia oraz w miejscach, gdzie średnioroczna prędkość wiatru nie jest wysoka.

Przykładem takiego rozwiązania jest turbina wiatrowa Aeroceptor 1500 o mocy nominalnej 6 kW firmy Artbau Wind. Urządzenie to rozpoczyna produkcję energii elektrycznej przy prędkości wiatru wynoszącej zaledwie 1,5 m/s. Kolejną zaletą tego rozwiązania jest wirnik turbiny wykonany wytrzymałych kompozytów w technologii lotniczej, odpornych na warunki atmosferyczne i charakteryzujących się niską masą własną. Pozwala to na montowanie turbiny w miejscach dotychczas niedostępnych dla modeli o tradycyjnej konstrukcji. Turbina po-

siada także wielostopniowy system bezpieczeństwa pracy. Pierwszy stopień systemu, hamulec elektromagnetyczny sterowany jest poprzez niezależny układ mikroprocesorowy, który nadmiar energii przekazuje na grzałkę lub zestaw rezystorów dużej mocy. Zabezpieczenie turbiny wiatrowej na wypadek uszkodzenia kabla przyłączeniowego stanowi moduł systemu ASBT zlokalizowany w generatorze. Dodatkowo wiatrak pionowy wyposażono w mechaniczny, automatyczny hamulec bezwładnościowy oraz ręczny hamulec serwisowy. [11].



Rys. 4. Krzywa mocy małej turbiny wiatrowej Aeroceptor 1500 [11]



Rys. 5. Mała turbina wiatrowa Aeroceptor 1500 [11]

3.3. Turbina wiatrowa typu Swift

Cechą charakterystyczną turbiny wiatrowej typu Swift szkockiej firmy Renewable Devices Ltd jest kształt pierścienia z pięcioma śmigłami umieszczonymi wewnątrz. Części ruchome wykonane są z włókien węglowych wzmacnianych rdzeniem kevlarowym. Dzięki temu rozwiąza-

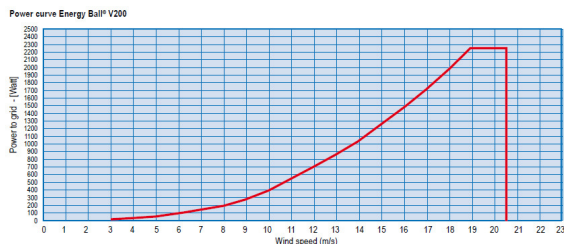
niu podczas pracy urządzenia występują małe vibracje i niski szum. Prędkość startowa turbiny wynosi 3,4 m/s, ale prędkość graniczna to aż 64,8 m/s. Nominalna moc wynosi 1,5 kW, a masa 37 kg [12]. Dzięki tym zaletom urządzenie może być montowane w miejscach, gdzie występują silne podmuchy wiatru i częste turbulencje. Istotną zaletą jest także cicha praca urządzenia- generuje hałas na nie przekraczający 35 dB niezależnie od warunków wietrznych. Dlatego turbina typu Swift może być instalowana także w miejscach przebywania ludzi np.: dachy zakładów pracy, mieszkań, sklepów, itp.



Rys. 6. Turbina wiatrowa typu Swift [12]

3.4. Turbina Energy Ball Wind Turbine

Turbina Energy Ball Wind Turbine zaproponowana przez firmę Home Energy International o mocy 2,25 kW ma kształt sferyczny. Wyposażona jest w pięć śmigieł o nieregularnych kształtach. Średnica śmigieł wynosi 1,98 m, a masa urządzenia to 90 kg. Turbina rozpoczyna generowanie energii elektrycznej przy prędkości wiatru wynoszącej 3 m/s i może pracować do maksymalnej prędkości wiatru wynoszącej 40 m/s, przy obrotach 700 rpm. Według producenta turbina jest w stanie wygenerować rocznie 2,2 MWh energii przy średniorocznej prędkości wiatru wynoszącej 7,5 m/s [13]. Zaletą urządzenia jest efektowny wygląd mogący stanowić element dekoracyjny podobny do zewnętrznych elementów małej architektury, ale poważną wadą jest niska produkcja energii elektrycznej dla prędkości wiatru poniżej 10 m/s, co przedstawia krzywa mocy na rysunku poniżej.



Rys. 7. Krzywa mocy dla turbiny Energy Ball V200 [13]



Rys. 8. Mała turbina wiatrowa Energy Ball V200 [13]

3.5. Mała turbina wiatrowa Airdolphin GTO

Cechą bardzo charakterystyczną małej turbiny wiatrowej o mocy 1 kW Airdolphin GTO jest jej bioniczny kształt z ruchomym ogonem stabilizacyjnym. Produkt ten został skonstruowany przez japońską firmę Zephyr Corporation i charakteryzuje się następującymi cechami [14]:

- moc nominalna 1 kW,
- masa jedynie 20 kg,
- średnica wirnika 1,8 m,
- obroty maksymalne 1280 rpm,
- prędkość startowa 2,5 m/s,
- 3 śmigła o masie 0,38 kg każde,
- ruchomy ogon stabilizujący.

Turbina wiatrowa Airdolphin GTO bardzo dynamicznie zmienia swoje ustawienie do kierunku wiatru, dzięki ogonowi stabilizującemu, co może być sporym atutem w terenach górskich i nadmorskich oraz wszędzie tam, gdzie występują gwałtowne zmiany kierunku prędkości wiatru. Należy zwrócić uwagę, że bardzo mała masa urządzenia daje praktycznie nieograniczone możliwości montażu. Mankamentem tego rozwiązania konstrukcyjnego jest stosunkowo niewysoka roczna produkcja energii elektrycznej szacowana przez producenta na 1,8 MWh przy średniorocznej prędkości wiatru wynoszącej 7 m/s.



Rys. 9. Turbina wiatrowa Airdolphin GTO [14]

4. Opłacalność inwestowania w małą energetykę wiatrową

Prognozy wzrostu cen energii elektrycznej opublikowane przez Ministerstwo Gospodarki [7] skłaniają do inwestowania w alternatywne źródła energii.

Według [6] przeciętna amerykańska rodzina zużywa rocznie ok. 11,5 MWh. Mała turbina wiatrowa o mocy 10 kW w dobrej lokalizacji jest w stanie pokryć to zapotrzebowanie. Zapotrzebowanie na energię elektryczną europejskiej rodziny powinna pokryć turbina o mocy 4 kW.

Jednakże stochastyczność wiatru powoduje, że inwestycje w małą energetykę wiatrową obarczone są dużym ryzykiem. Ryzyko to jest tym większe, że prędkość wiatru zależy od wysokości na poziomym terenie oraz od jego chropowatości. Niestety małe elektrownie wiatrowe instalowane są najczęściej na niewielkich wysokościach w terenach zurbanizowanych, gdzie osiągnięcie wysokiej wartości średniorocznej prędkości wiatru nie zdarza się często. Dlatego wszelkie inwestycje w małe elektrownie wiatrowe powinny być poprzedzone pomiarami prędkości wiatru lub ich szacunkami na podstawie atlasów wietrzności dla wybranej lokalizacji. Określenie profilu prędkości wiatru może zdeterminować wybór rozwiązania konstrukcyjnego w zakresie możliwości produkcji energii elektrycznej. Nie bez znaczenia jest także cena urządzenia. Ze względu na mnogość dostępnych nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych optymalny wybór nie jest łatwy.

Zdaniem autora konieczne wydaje się wspomaganie podejmowania decyzji o budowie małej elektrowni wiatrowej przy pomocy dedykowanego oprogramowania do analizy efektywności ekonomicznej. System komputerowy tego typu powinien zawierać:

- bazę danych rozwiązań technicznych producentów małych turbin wiatrowych,
- bazę danych dostępnych modeli wraz z parametrami technicznymi, krzywą mocy oraz aktualnymi cenami,
- wyszukiwarkę wielokryterialną,
- możliwość prognozowania potencjalnej produkcji energii elektrycznej na podstawie pomiarów środowiskowych i wybranego rozwiązania,
- możliwość kalkulacji potencjalnych przychodów w zależności od szacunku dostarczania energii elektrycznej przez prosumenta do systemu elektroenergetycznego,
- możliwość kalkulacji oszczędności związanej z produkcją energii elektrycznej na własne potrzeby,
- możliwość uwzględnienia zapisów ustawy o OZE,
- możliwość dokonania analiz w postaci wyznaczania wskaźników dyskontowych efektywności ekonomicznej: NPV (*ang. Net Present Value*) oraz IRR (*ang. Internal Rate of Return*).

5. Podsumowanie

Obecnie na świecie obserwujemy dynamiczny rozwój małej energetyki wiatrowej. Polskie firmy sektora MEW są najczęściej mikroprzedsiębiorstwami z niewielkim doświadczeniem. Na polskim rynku dostępne są także nowoczesne oraz innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne turbin wiatrowych małej mocy, w tym konstrukcje z dyfuzorem, o pionowej osi obrotu, owalne i sferyczne oraz o kształtach bionicznych. Wybór właściwego rozwiązania nie jest trywialny i zdaniem autora wymaga wsparcia dedykowanego systemu informatycznego dla małej energetyki wiatrowej. Obecnie na rynku występuje brak takiego systemu zawierającego bazę danych producentów i modeli małych turbin wiatrowych, umożliwiającego wykonanie analizy efektywności ekonomicznej dla MEW zgodnie z ustawą o odnawialnych źródłach energii.

Prognozy ponadinflacyjnego wzrostu cen energii elektrycznej oraz ustawa o odnawialnych źródłach energii promująca mikro i małe źródła, a także wzrost zainteresowania na rynku energetyki prosumenckiej mogą przyczynić się do bardzo dynamicznego rozwoju MEW w Polsce

w najbliższym czasie. Układy hybrydowe lub synergiczne (w tym nowoczesne metody magazynowania energii) mogą zwiększyć opłacalność inwestycji oraz poprawić bezpieczeństwo energetyczne.

6. Literatura

- [1]. Bartodziej G., Tomaszewski M.: "Energie odnawialne – szanse i przeszkody", *Nowa Energia* nr 1/2008, Racibórz 2008.
- [2]. Instytut Energetyki Odnawialnej "Rynek małych elektrowni wiatrowych w Polsce", *IEO*, Warszawa 2011.
- [3]. Popczyk J.: "Energetyka prosumencka", *wykład*, Opole 2012.
- [4]. Wiśniewski G.: (red.) "Małoskalowe odnawialne źródła energii i mikroinstalacje", Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa 2012.
- [5]. Nalepa K., Miąskowski W., Pietkiewicz P., Piechocki J., Bogacz P.: "Poradnik małej energetyki wiatrowej", *Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej*, Olsztyn 2011.
- [6]. World Wind Energy Association "Small Wind World Report 2012", *New Energy*, Bonn 2012.
- [7]. GRAMWZIELONE.PL Sp. z o.o. "Raport energia odnawialna w Polsce 2012", *GRAMWZIELONE.PL Sp. z o.o.*, Wrocław 2012.
- [8]. The Global Wind Energy Council, <http://www.gwec.net/>.
- [9]. Ministerstwo Gospodarki Rzeczpospolitej Polskiej, <http://www.mg.gov.pl/>.
- [10]. Sylwan Ewelina Chlebowska, <http://www.smartwindturbine.com>.
- [11]. Artbau Wind Sp. z o.o., <http://www.a-wind.pl>
- [12]. Renewable Devices Ltd, <http://renewable-devices.com>.
- [13]. Home Energy Int. B.V., <http://home-energy.com>.
- [14]. Zephyr Corporation, <https://www.zephyr-co.co.jp>.

Autor

dr inż. Wojciech Radziejewicz
Katedra Elektrowni i Systemów Pomiarowych
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Politechnika Opolska
ul. Prószkowska 76, 45-758 Opole
e-mail: w.radziejewicz@po.opole.pl