



Europejski
Instytut Miedzi
Copper Alliance



Energia odnawialna

Mikroelektrownie wiatrowe w systemach zasilania budynków

Roman Korab
Politechnika Śląska

Nr ref EIM: EIM05141

Wstęp

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków wprowadza pojęcie budynku o niemal zerowym zużyciu energii (budynek zeroenergetyczny). Zgodnie z tą dyrektywą od 2020 roku wszystkie nowo budowane obiekty będą musiały spełniać ten wymóg, przy czym jako budynek o niemal zerowym zużyciu energii rozumie się budynek o bardzo wysokiej charakterystyce energetycznej, w którym wymagana ilość energii pochodzi w dużym stopniu ze źródeł odnawialnych, w tym ze źródeł zintegrowanych z rozpatrywanym budynkiem. Budynki zeroenergetyczne stanowią więc rozwinięcie koncepcji budynków pasywnych [9, 10], w których niskie zapotrzebowanie na energię wynika głównie z ograniczenia jej zużycia na cele grzewcze, będące efektem zastosowania przegród budowlanych oraz okien o wysokiej izolacyjności cieplnej oraz systemu wentylacji z odzyskiem ciepła. Kolejną ich cechą szczególną jest bardziej efektywne użytkowanie energii elektrycznej przez urządzenia energooszczędne oraz wyposażenie w systemy sterowania dla tzw. inteligentnego domu. Budynek zeroenergetyczny nie jest więc obiektem nie zużywającym energii w ogóle. Pojęcie „zeroenergetyczny” odnosi się tutaj do energii pobieranej z zewnątrz, ponieważ zapotrzebowanie energetyczne obiektu w całości pokrywają źródła zainstalowane w budynku lub w jego najbliższym otoczeniu. W tym celu powinny być wykorzystywane zwłaszcza odnawialne źródła energii, takie jak: panele fotowoltaiczne i kolektory słoneczne, pompy ciepła i kotły biomasowe, a także – stanowiące temat niniejszego referatu – mikroturbiny (mikroelektrownie) wiatrowe.

W dalszej części referatu dokonano krótkiego przeglądu różnorodnych rozwiązań mikroturbin wiatrowych, wskazując na główne wady i zalety najpopularniejszych z nich. Wymieniono możliwości współpracy mikroźródła wiatrowego z instalacją odbiorczą budynku. Następnie zaprezentowano wyniki symulacji pracy elektrowni wiatrowej zintegrowanej z instalacją odbiorczą budynków przyłączonych do sieci elektroenergetycznej, zlokalizowanych w różnych częściach Polski. Dla wybranych lokalizacji przeprowadzono również analizę wpływu wysokości zainstalowania turbiny na produkcję energii elektrycznej. Porównano także, pod względem ilości wytwarzanej energii, mikroelektrownie z turbinami o poziomej i pionowej osi obrotu.

Rodzaje mikroturbin wiatrowych

Jednym z istotnych kryteriów podziału mikroturbin wiatrowych jest kryterium wykorzystujące położenie osi wirnika. Zgodnie z nim wyróżnia się:

- turbiny o poziomej osi obrotu – *HAWT (Horizontal Axis Wind Turbines)*,
- turbiny o pionowej osi obrotu – *VAWT (Vertical Axis Wind Turbines)*.

Turbiny *HAWT* posiadają poziomą oś, dookoła której, w płaszczyźnie pionowej, obraca się wirnik. Należą do nich konstrukcje: jednołopatowe, dwułopatowe, trójłopatowe, wielołopatowe, z dyfuzorem, a także turbiny wykorzystujące efekt Magnusa oraz turbiny wielowirnikowe. Drugą grupę stanowią turbiny *VAWT* posiadające pionową oś, dookoła której, w płaszczyźnie poziomej, obraca się wirnik. Do turbin o osi pionowej zaliczają się turbiny: Savoniusa, Darrieusa, H-Darrieusa, wieloskrzydłowe Savoniusa, turbiny będące połączeniem turbin Savoniusa i Darrieusa, świderkowe, karuzelowe oraz turbiny z rotorem bębnowym.

Ze względu na osiągnięte najwyższe wartości współczynnika wykorzystania mocy wiatru, obecnie najczęściej spotykane są turbiny o osi poziomej, z wirnikiem trójłopatowym, przy czym turbiny te, z powodu stosunkowo niskiego momentu rozruchowego, są przeznaczone raczej do zastosowań na terenach bardziej zasobnych w energię kinetyczną wiatru, ponieważ startowa prędkość wiatru dla mikroturbin tej konstrukcji wynosi około $2,5 \div 3$ m/s. Turbiny *HAWT* wymagają również dodatkowego urządzenia zapewniającego prostopadłe ustawienie względem kierunku wiatru. W mikroturbinach jest to najczęściej ster kierunkowy, prostopadły do powierzchni wirnika.

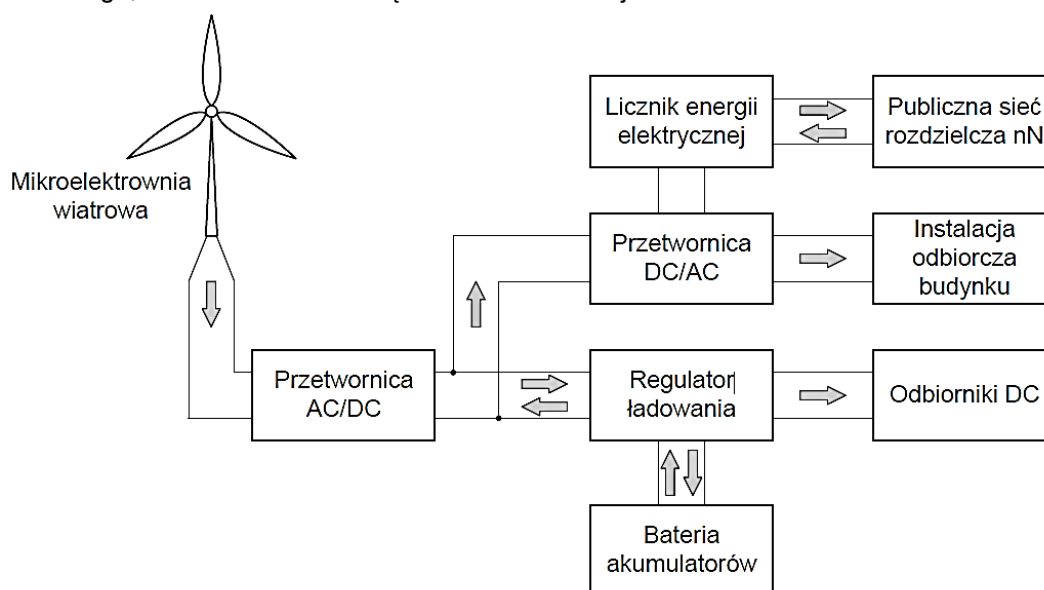
Spośród turbin o pionowej osi obrotu dużą popularnością cieszą się turbiny oparte na koncepcji Savoniusa. Cechują się one dużym momentem obrotowym, dzięki któremu praca turbiny rozpoczyna się już przy prędkości wiatru wynoszącej około 1,5 m/s. Konstrukcja wirnika jest również odporna na silne podmuchy wiatru, a jej wyłączenie następuje dopiero przy prędkościach wiatru przekraczających nawet 40 m/s (dla porównania mikroturbiny *HAWT* mogą pracować zwykle przy prędkościach wiatru nie przekraczających 25 m/s). Dodatkowo turbiny *VAWT* nie wymagają urządzeń pozycjonujących je względem kierunku wiatru. Największą wadą turbin Savoniusa jest niski współczynnik wykorzystania mocy wiatru. Mikroturbiny o pionowej osi obrotu są też zwykle droższe od turbin o osi poziomej o tej samej mocy znamionowej.

Mikroelektrownia wiatrowa w układach zasilania budynków

Mikroturbina wiatrowa, napędzająca odpowiedni generator elektryczny, tworzy mikroelektrownię wiatrową, która – zwykle przez odpowiedni przekształtnik energoelektroniczny – może zostać przyłączona do instalacji elektrycznej obiektu budowlanego. Podstawowym kryterium klasyfikacji powstałych w ten sposób systemów zasilania jest sposób współpracy instalacji elektrycznej budynku, wyposażonej we własne, w tym odnawialne, źródła energii, z zewnętrzną siecią elektroenergetyczną. W obszarze tym wyróżnia się tzw. systemy *off-grid*, bez połączenia z siecią, oraz systemy *on-grid*, przyłączone do sieci elektroenergetycznej nN.

Systemy *off-grid*, określane także jako autonomiczne, wydzielone lub wyspowe, nie posiadają połączenia z siecią elektroenergetyczną. Energia elektryczna zasilająca odbiorniki jest w całości wytwarzana przez źródła zainstalowane w układzie. Brak dostępu do sieci może wynikać m.in. z wysokich kosztów przyłączenia, będących efektem słabego rozwoju infrastruktury sieciowej na danym terenie, lub z trudnych warunków terenowych, uniemożliwiających budowę linii. Niekiedy tego rodzaju systemy powstają również jako alternatywa dla zasilania sieciowego z wyboru właścicieli obiektów, którzy w ten sposób uniezależniają się od awaryjności sieci oraz wzrostu cen energii elektrycznej. Niezbędnym elementem systemów *off-grid* są baterie akumulatorów, pozwalające wykorzystywać energię wytworzoną przez źródła odnawialne w momencie, gdy moc generowana jest niższa niż pobierana przez odbiorniki. Akumulatory powinny mieć odpowiednio dobraną pojemność, zapewniającą zachowanie ciągłości zasilania. Jednak są one drogim elementem układu, dodatkowo o ograniczonej trwałości, wymuszającej ich okresową wymianę. Ze względu na swoje cechy systemy *off-grid* znajdują zwykle zastosowanie do zasilania budynków mieszkalnych znacznie oddalonych od sieci elektroenergetycznej, domków letniskowych, stacji telekomunikacyjnych i meteorologicznych, latarni ulicznych, aktywnych znaków drogowych i wielu podobnych obiektów.

Drugą grupę systemów zasilania budynków stanowią systemy *on-grid*. Mogą mieć one różną konfigurację, ale ich cechą wspólną jest przyłączenie do publicznej sieci rozdzielczej nN. Przykładowy, oparty na mikroelektrowni wiatrowej, system zasilania budynku typu *on-grid* został poglądowo zaprezentowany na rys. 1. Wytworzona w mikroelektrowni wiatrowej energia elektryczna prądu przemiennego (mikroturbiny przeznaczone do zasilania budynków najczęściej współpracują z generatorem synchronicznym z magnesami trwałymi) jest przekształcana na energię prądu stałego, która jest dalej przekazywana obwodami zasilającymi DC do przekształtnika DC/AC. Tam jest ona przekształcana w energię prądu przemiennego o odpowiednich dla współpracy z siecią parametrach i za pośrednictwem obwodów zasilających AC jest dalej przekazywana do obwodów odbiorczych instalacji budynku. Nadmiar energii jest przekazywany do sieci rozdzielczej nN. W zależności od potrzeb, część wytworzonej przez źródło wiatrowe energii może również zasilać odbiorniki DC lub może zostać zmagazynowana w baterii akumulatorów (odpowiednio dobranej dla celów magazynowania energii lub stanowiącej zasobnik samochodu elektrycznego). W okresach niedoboru energii pochodzącej ze źródła odnawialnego, odbiorniki zasilane są z sieci rozdzielczej nN.



Rys. 1. Poglądowy schemat systemu zasilania budynku typu *on-grid*, opartego na mikroelektrowni wiatrowej (strzałkami zaznaczono kierunki przepływu energii elektrycznej).

Symulacja pracy mikroelektrowni wiatrowych w systemach zasilania budynków mieszkalnych

Założenia ogólne

Do głównych czynników wpływających na ilość energii generowanej przez mikroelektrownię wiatrową można zaliczyć:

- czasową zmienność prędkości wiatru w miejscu zainstalowania turbiny,
- wysokość zainstalowania osi turbiny wiatrowej nad powierzchnią gruntu,
- ukształtowanie terenu w najbliższym otoczeniu mikroturbiny,
- parametry powietrza atmosferycznego (ciśnienie, temperaturę, gęstość, wilgotność).

Moc strumienia wiatru określa zależność [6]:

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (1)$$

gdzie:

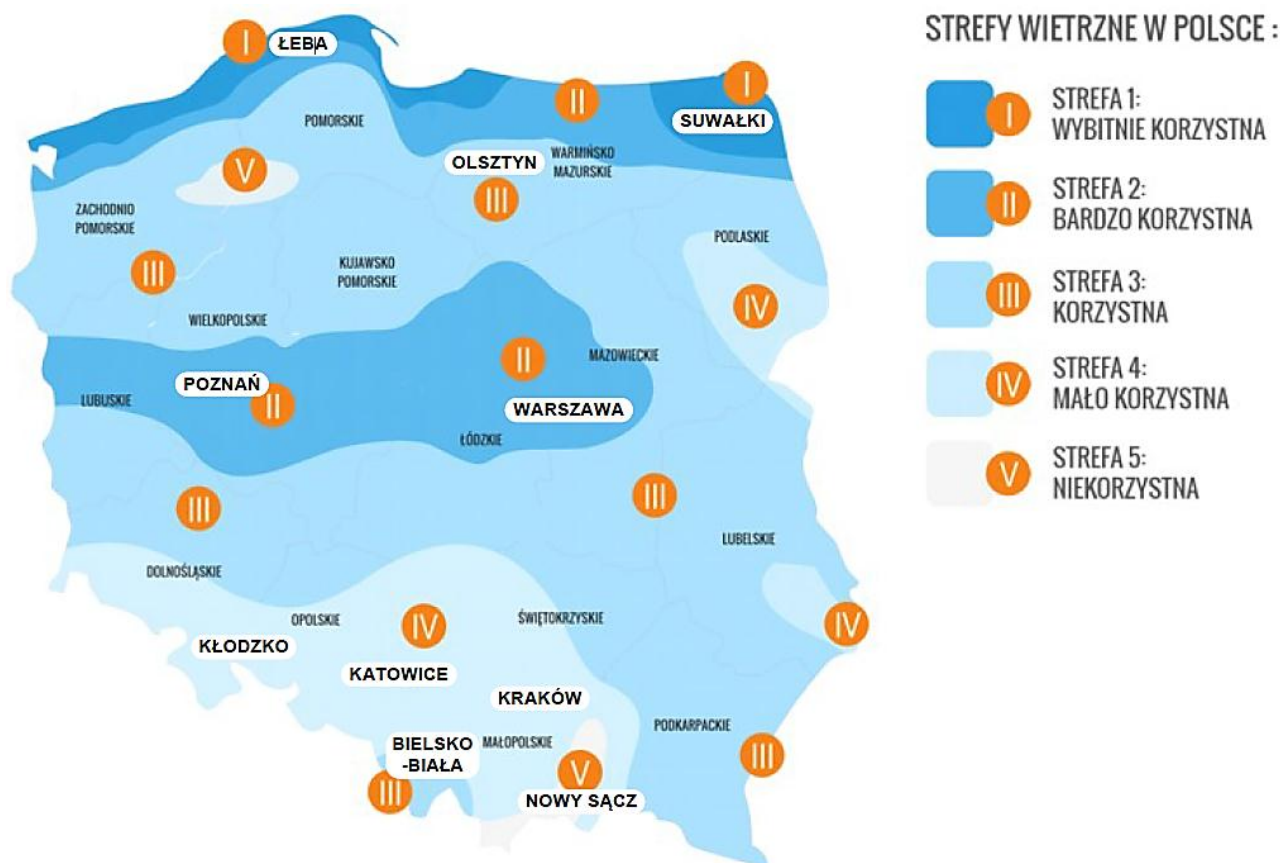
- ρ – gęstość powietrza,
- A – powierzchnia, przez którą przepływa strumień powietrza,
- v – prędkość powietrza.

Zgodnie z wzorem (1) moc strumienia wiatru jest zależna głównie od prędkości wiatru, podniesionej do trzeciej potęgi. Zatem nawet niewielkie zmiany prędkości czynnika napędowego skutkują znacznymi zmianami mocy generowanej przez mikroelektrownię wiatrową. W związku z tym instalację mikroturbiny należy poprzedzić określeniem warunków wiatrowych, panujących w rozpatrywanej lokalizacji, najlepiej prowadząc odpowiednie pomiary. Jeżeli z różnych względów nie można wykonać takich pomiarów, w zastępstwie można skorzystać z danych zebranych w najbliższej stacji meteorologicznej. Na obszarze Polski pomiary prędkości wiatru prowadzone są w 61 stacjach IMGW. Wykonane pomiary wieloletnie umożliwiły opracowanie typowych lat meteorologicznych dla każdej ze stacji, które opublikowano na stronie internetowej Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa. Zamieszczone tam zbiory danych zawierają m.in. pomiary prędkości oraz kierunku wiatru, które zostały wykorzystane w przeprowadzonych symulacjach pracy mikroelektrowni wiatrowych.

Podstawowym narzędziem obliczeniowym był model matematyczny budynku plus-energetycznego, opracowany w Instytucie Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej [3]. Model ten umożliwia wyznaczenie ilości generowanej energii przez różne źródła, możliwe do zintegrowania z kilkoma typami budynków. W niniejszych symulacjach rozpatrywano mikroelektrownię wiatrową, zasilającą budynek mieszkalny z instalacją *on-grid*. W obliczeniach, bazując na danych dla typowych lat meteorologicznych, określono rzeczywiste warunki wiatrowe w miejscu zainstalowania mikroturbiny. W tym celu uwzględniono wysokość zainstalowania wirnika, ukształtowanie terenu w jego okolicy oraz rzeczywistą gęstość powietrza. Następnie, na podstawie właściwej charakterystyki mocy generowanej w funkcji prędkości wiatru, wyznaczano ilość generowanej przez daną mikroelektrownię energii elektrycznej. Symulację przeprowadzono w horyzoncie rocznym, z rozdzielczością godzinową. Analizowano współpracę mikroelektrowni wiatrowych różnych mocy i typów, zasilających budynki mieszkalne o kilku poziomach rocznego zużycia energii elektrycznej. Przejście z rocznego zużycia odbiorcy na wartości zapotrzebowania godzinowego zostało wykonane przy wykorzystaniu statystyczno-probabilistycznego modelu dobowego obciążenia odbiorcy. Wyniki obliczeń uzyskane za pomocą modelu matematycznego budynku plus-energetycznego zostały porównane z wynikami uzyskanymi dla tych samych danych przy pomocy programu Homer Energy [4].

Efektywność mikroelektrowni wiatrowej w zależności od zasobów energii wiatru

Poziom zasobów energii kinetycznej wiatru jest szczególnie zależny od jego prędkości. Podstawowy, bardzo ogólny, podział obszaru Polski pod względem średniej prędkości wiatru prezentuje, opracowana przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, mapa stref energetycznych (rys. 2). Korzystając z tej mapy wybrano dziesięć, leżących w różnych strefach, miejscowości, posiadających stacje meteorologiczne. Wybrane miasta, dla których dokonano symulacji pracy mikroelektrowni wiatrowych, zaznaczono na rys. 2. Dla podanych lokalizacji przeprowadzono symulację pracy mikroturbin wiatrowych o poziomej osi obrotu, zainstalowanych na maszcie o wysokości 15 m.

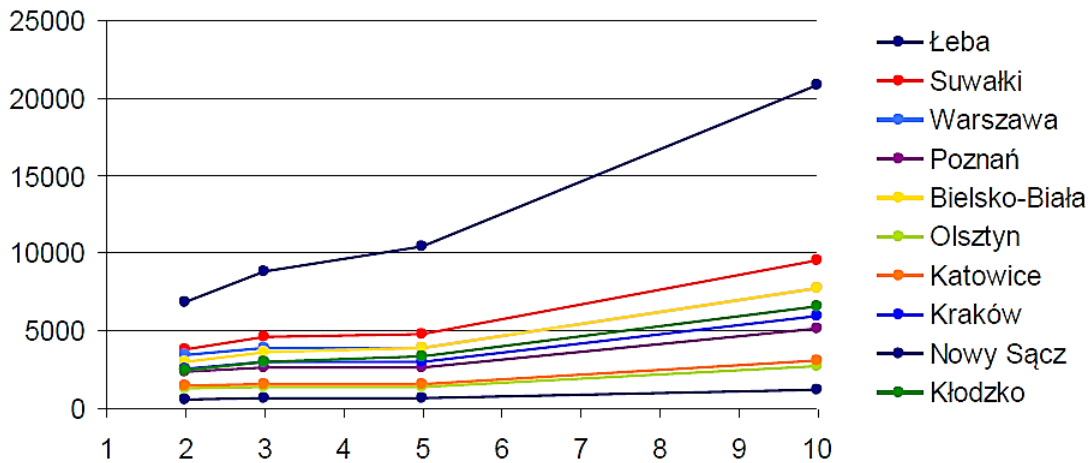


Rys. 2. Strefy energetyczne wiatru w Polsce oraz rozpatrywane lokalizacje mikroelektrowni wiatrowych.

Najważniejsze dane (moc znamionową P_n , prędkości: startową v_s , znamionową v_n i wyłączenia v_w , średnicę ϕ i powierzchnię A wirnika oraz sprawność η) rozpatrywanych w symulacjach mikroturbin zestawiono w tab. 1. Z kolei na rys. 3 pokazano ilości wyprodukowanej przez mikroelektrownie wiatrowe energii elektrycznej w okresie rocznym.

Tabela 1. Najważniejsze dane znamionowe rozpatrywanych mikroturbin wiatrowych.

Model	P_n , kW	v_s , m/s	v_n , m/s	v_w , m/s	ϕ , m	A , m ²	η , %
MW1	2	3	9	25	3,6	10,2	44,0
MW2	3	3	10	25	4,5	15,9	30,8
MW3	5	3	12	25	5,8	26,4	17,9
MW4	10	3	12	25	8,0	50,3	18,8



Rys. 3. Roczna produkcja energii elektrycznej, w kWh, przez mikroelektrownie wiatrowe o mocach 2, 3, 5 oraz 10 kW, zainstalowane w różnych lokalizacjach w Polsce.

Zgodnie z oczekiwaniami najwięcej energii wytworzy mikroelektrownia wiatrowa zainstalowana w Łebie, gdzie roczna ilość uzyskiwanej energii przewyższa około dwukrotnie produkcję w drugiej najkorzystniejszej lokalizacji, jaką są Suwałki. Pomimo, że z rys. 2 wynika, że oba miasta leżą w tej samej (najkorzystniejszej) strefie energetycznej, uzyskane rezultaty potwierdzają, iż najlepsze warunki dla lokalizacji mikroelektrowni wiatrowych występują w obszarach nadmorskich, gdzie ruch powietrza jest najmniej zakłócany przez naturalne i sztuczne przeszkody terenowe. Wpływ ukształtowania terenu uwidacznia się również silnie podczas porównania wyników dla innych lokalizacji, np. dla Poznania i Krakowa. Pomimo, że Kraków leży w czwartej strefie energetycznej (rys. 2), to niższa klasa szorstkości terenu niż w przypadku leżącego w drugiej strefie Poznania powoduje, że generacja energii przez mikroelektrownie jest nieco wyższa w Krakowie (niższa klasa szorstkości terenu dla Krakowa jest tutaj efektem umieszczenia stacji meteorologicznej w pobliżu portu lotniczego, a więc dane o prędkościach wiatru reprezentują zerową klasę szorstkości, odpowiadającą terenom otwartym). W przypadku lokalizacji turbiny wiatrowej na obszarach zabudowanych należy skorygować klasę szorstkości, która w rezultacie będzie skutkowała obniżeniem ilości wytwarzanej energii. Aspekt ten jest szczególnie ważny w ocenie efektywności mikroelektrowni wiatrowych, z uwagi na ich instalację na stosunkowo niewielkiej wysokości nad powierzchnią terenu.

Zainstalowanie w danej lokalizacji mikroelektrowni wiatrowej o wyższej mocy znamionowej zwykle umożliwia wytworzenie większej ilości energii elektrycznej, jednak uzyskany przyrost generacji nie we wszystkich przypadkach jest proporcjonalny do przyrostu mocy turbiny (rys. 3). Przykładowo przy zmianie turbiny 5 kW na jednostkę o mocy 10 kW w każdej z rozpatrywanych lokalizacji uzyskano dwukrotny przyrost produkowanej energii. Wynika to z takich samych, poza mocą znamionową, parametrów rozpatrywanych turbin. Z kolei przy zmianie turbiny z jednostki 2 kW na 3 kW (wzrost mocy zainstalowanej o 50%) uzyskano zwiększenie generacji energii maksymalnie o 30%. Przyczyną, oprócz różnej sprawności turbin, jest tutaj głównie wyższa prędkość znamionowa turbiny o mocy 3 kW. Prawidłowość ta jest jeszcze bardziej widoczna po zastąpieniu turbiny 3 kW turbiną 5 kW. W tym przypadku w niektórych lokalizacjach zanotowano nawet spadek produkcji energii (turbina 5 kW ma wyższą o 2 m/s prędkość znamionową).

Wykonane symulacje, oprócz określenia ilości generowanej przez mikroelektrownie wiatrowe energii, pozwoliły również na ocenę możliwości pokrycia zapotrzebowania odbiorcy (budynku mieszkalnego). Założono, że mikroelektrownia o mocy 2 kW zasila odbiorcę o rocznym zużyciu energii wynoszącym około 2 MWh. Z kolei dla odbiorców o zapotrzebowaniu około 4, 6 i 10 MWh dobrano odpowiednio turbiny o mocach 3, 5 i 10 kW. Przeprowadzone, z rozdzielczością godzinową, obliczenia umożliwiły wyznaczenie w każdej godzinie bilansu energii elektrycznej w rozpatrywanym budynku mieszkalnym, obejmującego zużycie odbiorcy, produkcję mikroelektrowni oraz wymianę (pobór lub dostawę) z siecią nN. Na tej podstawie wyznaczono trzy wskaźniki (tab. 2) określające:

1. Stosunek ilości energii elektrycznej wytworzonej w ciągu roku przez mikroelektrownię wiatrową do rocznego zużycia energii elektrycznej rozpatrywanego odbiorcy (E_{oze}/E_{odb}).

2. Procentowy udział energii elektrycznej wytwarzanej przez mikrowiatrak (produkcji własnej) w energii zużywanej przez odbiorcę (E_{pw}/E_{odb}).
3. Stosunek ilości energii elektrycznej oddawanej w ciągu roku do sieci do całkowitej rocznej produkcji mikroelektrowni wiatrowej (E_{odd}/E_{oze}).

Tabela 2. Wskaźniki określające efektywność mikroelektrowni wiatrowej w systemach zasilania budynków, w %.

Lokalizacja	Odbiorca 2 MWh			Odbiorca 4 MWh			Odbiorca 6 MWh			Odbiorca 10 MWh		
	$\frac{E_{oze}}{E_{odb}}$	$\frac{E_{pw}}{E_{odb}}$	$\frac{E_{odd}}{E_{oze}}$	$\frac{E_{oze}}{E_{odb}}$	$\frac{E_{pw}}{E_{odb}}$	$\frac{E_{odd}}{E_{oze}}$	$\frac{E_{oze}}{E_{odb}}$	$\frac{E_{pw}}{E_{odb}}$	$\frac{E_{odd}}{E_{oze}}$	$\frac{E_{oze}}{E_{odb}}$	$\frac{E_{pw}}{E_{odb}}$	$\frac{E_{odd}}{E_{oze}}$
Łeba	294	68	77	201	63	69	181	58	68	215	61	72
Suwałki	163	50	69	104	44	58	83	39	53	98	42	57
Warszawa	146	54	63	89	46	48	67	40	41	80	44	45
Poznań	99	40	60	60	33	45	45	28	37	53	31	41
Bielsko-B.	128	44	66	82	37	55	68	32	52	80	35	56
Olsztyn	53	28	48	32	22	31	23	18	24	28	20	28
Katowice	60	29	51	36	23	35	27	19	27	32	22	31
Kraków	107	34	68	67	30	55	52	27	48	61	29	53
Nowy Sącz	24	12	48	14	10	31	10	8	23	12	9	27
Kłodzko	104	30	71	68	26	61	57	23	59	68	25	63

Analizując wyniki zestawione w tab. 2 można stwierdzić, że mikroelektrownie wiatrowe o mocach pozwalających na wytworzenie w ciągu roku energii w ilościach niekiedy znacząco przewyższających roczne zapotrzebowanie odbiorców, w żadnym z rozpatrywanych przypadków nie pozwoliły na całkowite pokrycie potrzeb energetycznych budynków mieszkalnych w każdej godzinie rozpatrywanego okresu. W skrajnym przypadku energia elektryczna pochodząca z odnawialnego źródła energii stanowiła aż 294% rocznego zużycia (Łeba, odbiorca 2 MWh), jednak jej udział w pokryciu zapotrzebowania odbiorcy wynosił jedynie 68%, a aż 77% produkcji zostało sprzedane do sieci. Główną przyczyną takiej sytuacji jest dostępność energii kinetycznej wiatru przede wszystkim w czasie, gdy odbiorca pobiera minimalne ilości energii elektrycznej. Natomiast w okresach zwiększonego zużycia, niedobory produkcji z turbiny wiatrowej są bilansowane energią kupowaną z sieci nN. Rozwiązaniem tego problemu może być wyposażenie instalacji w zasobniki energii, jednak należy pamiętać, że dodatkowa inwestycja podnosi koszt całego przedsięwzięcia.

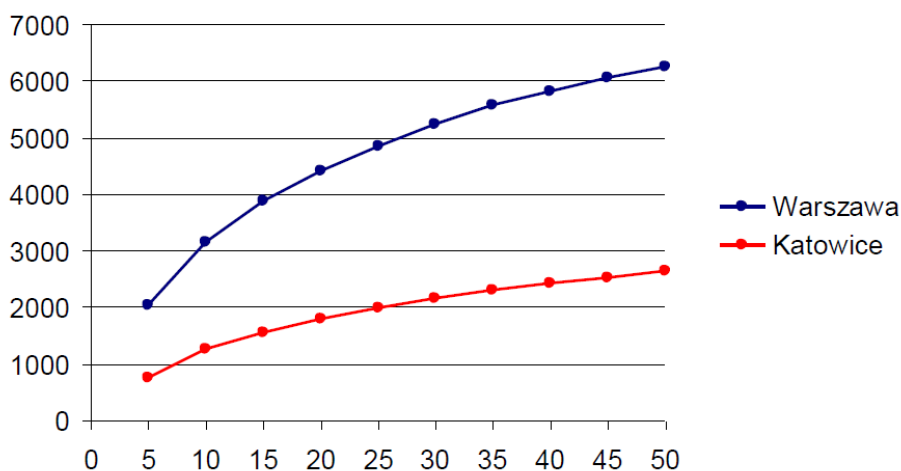
Przedstawione wyżej wyniki analiz zostały otrzymane przy wykorzystaniu modelu matematycznego budynku plus-energetycznego [3]. Wyniki te zostały zweryfikowane programem Homer Energy [4]. Zanotowane rozbieżności zwykle nie przekraczały kilkunastu procent, a ich główną przyczyną jest sposób przeliczenia prędkości wiatru, który jedynie w modelu matematycznym budynku plus-energetycznego uwzględnia wpływ warunków topograficznych.

Wpływ wysokości zainstalowania mikroturbiny wiatrowej na ilość wytwarzanej energii

W dotychczas opisanych analizach założono, że mikroturbina wiatrowa jest zainstalowana na wysokości 15 m nad powierzchnią terenu. Jednakże energia kinetyczna wiatru podlega zmianom wraz ze zmianami wysokości zainstalowania osi wirnika, która wpływa na prędkość wiatru oraz gęstość powietrza atmosferycznego. Wpływ tych czynników na ilość wytwarzanej przez mikroelektrownię wiatrową energii elektrycznej wyznaczono przeprowadzając obliczenia za pomocą modelu budynku plus-energetycznego, zgodnie z procedurą opisaną w normie PN-EN ISO 15927-1:2005. Przeprowadzono symulację pracy mikroturbiny wiatrowej o poziomej osi obrotu i mocy znamionowej 3 kW.

Założono instalację turbiny na wysokościach od 5 do 50 m nad powierzchnią gruntu w Warszawie i w Katowicach. Uzyskane rezultaty zaprezentowano na rys. 4. Wynika z nich, że największy wzrost produkcji

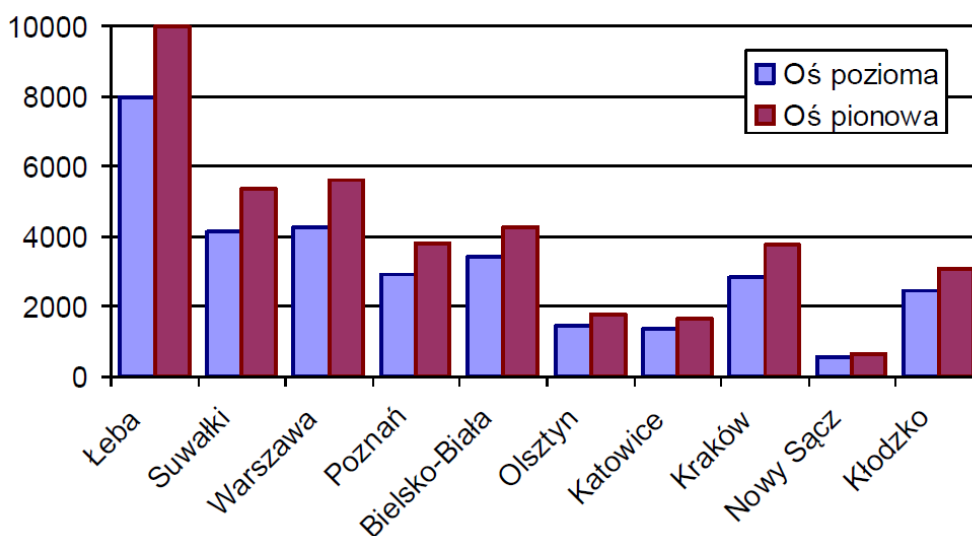
energii wystąpił na niewielkich wysokościach, gdzie duży wpływ na obniżenie prędkości wiatru ma ukształtowanie terenu. Na większych wysokościach wpływ warunków topograficznych maleje. W analizowanym przedziale wysokości instalacji turbiny uzyskano ponad trzykrotny wzrost produkcji (produkcja energii na wysokości 50 m wynosiła w Warszawie 308%, a w Katowicach 352% wartości obliczonej dla wirnika umieszczonego 5 m nad powierzchnią gruntu).



Rys. 4. Roczna produkcja energii elektrycznej, w kWh, przez mikroelektrownię wiatrową o mocy znamionowej 3 kW, zainstalowaną na wysokościach od 5 do 50 m w Katowicach i w Warszawie.

Porównanie mikroturbin o poziomej i pionowej osi obrotu

Opisane dotychczas symulacje dotyczyły mikroturbin wiatrowych o poziomej osi obrotu wirnika, które są częściej spotykane niż jednostki o osi pionowej. Z kolei w tym punkcie dokonano porównania rocznej produkcji energii elektrycznej turbin o poziomej oraz pionowej osi obrotu. Obliczenia przeprowadzono programem Homer Energy, który umożliwia dokładniejsze modelowanie charakterystyki $P_G = f(v)$ turbiny niż model matematyczny budynku plus-energetycznego (stąd wynikają niewielkie różnice między wynikami dotyczącymi rocznej produkcji energii prezentowanymi poniżej i w punkcie 3.2). Obliczenia wykonano dla turbin o mocy 5 kW i prędkości startowej 3 m/s. Prędkości znamionowa i wyłączenia dla turbiny o poziomej osi obrotu były odpowiednio równe 12 i 25 m/s, a dla turbiny pionowej wynosiły 11 i 30 m/s. Na rys. 5 porównano roczną generację mikroelektrowni wiatrowych o poziomej i pionowej osi obrotu w analizowanych wcześniej dziesięciu lokalizacjach (wysokość zainstalowania turbin wynosiła 15 m).



Rys. 5. Roczna produkcja energii elektrycznej, w kWh, przez mikroelektrownie wiatrowe o pionowej i poziomej osi obrotu.

We wszystkich rozpatrywanych lokalizacjach odnotowano większą produkcję energii elektrycznej w przypadku zastosowania turbiny o pionowej osi obrotu, w stosunku do generacji uzyskanej przy zastosowaniu jednostki z osią poziomą (wzrost od 15% w Nowym Sączu do ponad 30% w Krakowie). Wynika to głównie z niższej prędkości znamionowej turbiny z osią pionową. Dodatkową przewagą tej konstrukcji stanowi pozyskiwanie energii kinetycznej strumienia powietrza napływającego z dowolnego kierunku względem wirnika. Główną wadą turbiny o pionowej osi jest koszt jej zakupu, który może być wyższy nawet o kilkadziesiąt procent od kosztu turbiny o osi poziomej.

Wnioski

Mikroelektrownie wiatrowe, wraz z panelami fotowoltaicznymi, są źródłami odnawialnymi, które mogą znaleźć zastosowanie w wytwarzaniu energii elektrycznej, m.in. na potrzeby pojedynczych budynków mieszkalnych. Źródła te, przy odpowiedniej konfiguracji systemu zasilania, mogą pozwolić na dostosowanie nowych lub istniejących obiektów do standardu budynku zeroenergetycznego, a nawet plus-energetycznego. Projektując system zasilania z mikroelektrownią wiatrową należy jednak mieć na uwadze fakt, że mikroturbiny wiatrowe nie umożliwiają całkowitego pokrycia zapotrzebowania gospodarstwa domowego na energię elektryczną w każdej godzinie doby, a zmiana turbiny na model o zwiększonej mocy znamionowej nie zawsze wiąże się ze wzrostem ilości wytwarzanej energii. Lepszy efekt w tym zakresie można zwykle uzyskać instalując turbinę na większej wysokości, ponieważ, ze względu na coraz mniejszy wpływ ukształtowania terenu, zasoby energii kinetycznej wiatru wzrastają wraz z wysokością nad powierzchnią gruntu. Innym sposobem zwiększenia produkcji może być wykorzystanie turbiny o pionowej osi obrotu. Jednak o zastosowanym rozwiązaniu każdorazowo powinna decydować analiza opłacalności inwestycji.

Literatura

- [1] Chmielniak T.: Technologie energetyczne. WNT, Warszawa 2008.
- [2] Klonowski M.: Współczesne rozwiązania małych elektrowni wiatrowych. Czysta Energia, 7-8/2012.
- [3] Kucharczyk P.: Możliwość intensyfikacji wykorzystania energetyki rozproszonej OZE w budynkach. Rynek Energii, Zeszyt tematyczny nr 1 (VII), 2012.
- [4] Lambert T., Gilman P., Lilenthal P.: Micropower system modeling with Homer. Rozdział w książce Farret F.A., Simoes M.G.: Integration of Alternative Sources of Energy. John Wiley & Sons, 2006.
- [5] Lewandowski W.M.: Proekologiczne źródła energii odnawialnej. WNT, Warszawa 2012.
- [6] Lubośny Z.: Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym. WNT, Warszawa 2009.
- [7] Pawlik M., Strzelczyk F.: Elektrownie. WNT, Warszawa 2012.
- [8] Paska J.: Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2010.
- [9] Wnuk R.: Budowa domu pasywnego w praktyce. Wydawnictwo Przewodnik Budowlany, 2012.
- [10] Wnuk R.: Instalacje w domu pasywnym i energooszczędnym. Wydawnictwo Przewodnik Budowlany, 2007.