

WSPÓLPRACA MIKROINSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ Z SYSTEMEM ELEKTROENERGETYCZNYM

Marian SOBIERAJSKI¹, Wilhelm ROJEWSKI²

Politechnika Wrocławska, Wydział Elektryczny, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

1. tel.: 71 320 44 22; e-mail:marian.sobierajski@pwr.edu.pl

2. tel.: 71 320 37 24; e-mail:wilhelm.rojewski@pwr.edu.pl

Streszczenie: W pracy analizowane jest wytwarzanie energii i mocy przez mikroinstalację fotowoltaiczną o mocy 15 kW. Mikroinstalacja jest przyłączona do sieci niskiego napięcia, z której zasilany jest nowy klimatyzowany budynek D-20. W referacie omówiono wytwarzanie energii i mocy w przedziale rocznym, miesięcznym i dobowym. Generacja w mikroinstalacji w szczycie rannym miesiący letnich porównana jest z dobową generacją wiatrową na tle zapotrzebowania, generacji i minimum technicznego oraz remontów w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, mikroinstalacja fotowoltaiczna, system elektroenergetyczny

1. WPROWADZENIE

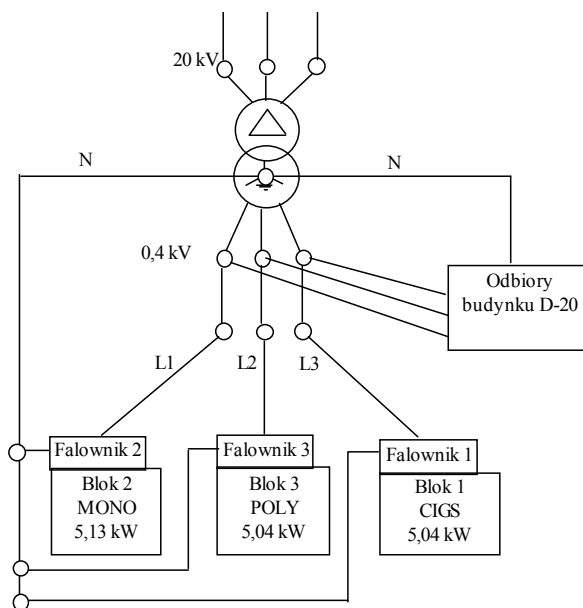
Przyłączona do sieci mikroinstalacja fotowoltaiczna jest opisana przez maksymalną moc czynną i zakres regulacji współczynnika mocy. Przyłączenie mikroinstalacji poprzedza ocena jej wpływu na warunki pracy sieci i jakość energii, która powinna objąć następujące problemy [1, 2]:

- odchylenia poziomu napięcia nie powinny przekraczać $\pm 10\%U_n$,
- powolne zmiany napięcia nie powinny przekraczać $3\%U_n$,
- szybkie zmiany napięcia w punkcie przyłączenia nie powinny przekraczać $3\%U_n$,
- krótkotrwały współczynnik migotania powinien być mniejszy od 1, a długotrwały od 0,65,
- wprowadzane do sieci harmoniczne prądów nie powinny powodować przekroczenia dopuszczalnych przez normę poziomów harmonicznych, a współczynnik zawartości harmonicznych w napięciu powinien być mniejszy od 8%,
- asymetria napięcia po przyłączeniu mikroinstalacji nie powinna przekraczać 2%,
- prąd zwarciovowy po przyłączeniu mikroinstalacji nie powinien przekroczyć wytrzymałości zwarciovowej linii i aparatury w stacji transformatorowej,
- wprowadzanie mocy do sieci nie powinno powodować przekroczenia dopuszczalnego długotrwałe obciążenia linii i transformatora SN/nN,
- wprowadzana do sieci moc czynna powinna być uzależniona od aktualnej wartości częstotliwości w systemie elektroenergetycznym.

Odpowiednie analizy mogą być dokonane metodami uproszczonymi [3], ale w przypadku sieci niskiego napięcia z dużą liczbą mikroinstalacji przybliżone obliczenia są niewystarczające i konieczne jest korzystanie z komputerowego programu obliczeń rozplływów mocy i zwarć.

2. WSPÓLPRACA BADAWCZEJ MIKROINSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ Z SYSTEMEM ELEKTROENERGETYCZNYM

Badawcza mikroinstalacja fotowoltaiczna o mocy 3×5 kW została zbudowana w listopadzie 2011 r. ze środków Funduszu Nauki i Technologii Polskiej i została przyłączona do sieci niskiego napięcia.



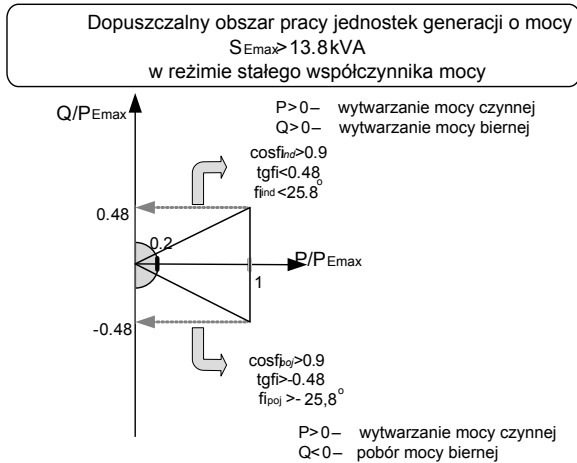
Rys. 1. Schemat ideowy przyłączenia badawczej mikroinstalacji fotowoltaicznej do sieci niskiego napięcia

W skład mikroinstalacji wchodzi 3 moduły, z których każdy jest przyłączony do osobnej fazy istniejącej sieci trójfazowej, rys. 1.

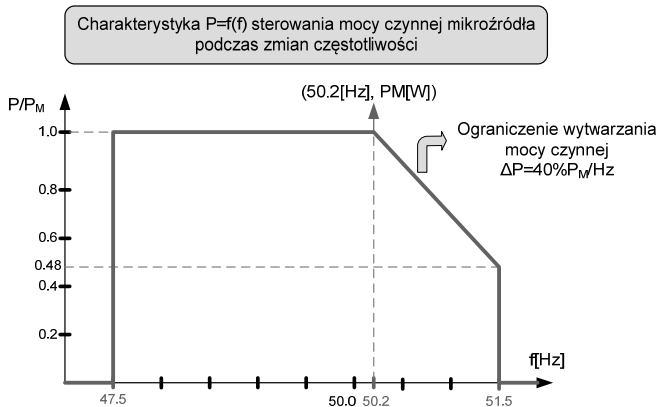
Falowniki mają zaimplementowaną regulację mocy biernej w funkcji wytwarzanej mocy czynnej, czyli realizują standardową charakterystykę $\cos \varphi(P)$ [2–4], rys. 2.

Falowniki mogą pracować również według zadanej charakterystyki $P(f)$. W zakresie częstotliwości od 47,5 Hz do 50,2 Hz pracuje z maksymalną mocą czynną osiąganą dla danych warunków pogodowych. W przedziale częstotliwości od 50,2 Hz do 51,5 Hz przy wzroście częstotliwości redukuje moc czynną z szybkością $40\% P_M$ na każdy Hz, gdzie P_M oznacza moc czynną wytwarzaną w momencie przekroczenia częstotliwości sieciowej 50,2 Hz. Po przekroczeniu częstotliwości 52 Hz lub obniżeniu poniżej 47,5 Hz

następujące odłączenie falownika od sieci niskiego napięcia, rys. 3.



Rys. 2. Wymagane wartości współczynnika mocy w odniesieniu do źródeł o mocach osiągalnych S_{Emax} powyżej 13,8 kVA



Rys. 3. Charakterystyka $P = f(f)$ wytwarzania mocy czynnej przez mikroinstalację fotowoltaiczną podczas zmian częstotliwości w systemie elektroenergetycznym

Wytwarzanie mocy w omawianej mikroinstalacji fotowoltaicznej 15 kW obserwowane jest przez system zdalnego odczytu energii, mocy, napięć, prądów, składający się z inteligentnych liczników LEW 101-P 5(40)A. Ponadto mikroinstalacja została wyposażona w system Sunny Sensor Box śledzący warunki pogodowe (nasłonecznienie, temperatura otoczenia, prędkość wiatru). Wszystkie pomiary są automatycznie zapisywane do bazy danych typu MySQL. Możliwa jest *on-line* wizualizacja wszystkich zebranych danych pomiarowych.

Dotychczasowa obserwacja pracy mikroinstalacji fotowoltaicznej 15 kW pozwala stwierdzić [4, 5], że nie powoduje ona przekroczenia dopuszczalnych wartości powolnych i szybkich zmian napięcia, krótkotrwałych i długotrwałych wskaźników migotania światła oraz że pracuje zgodnie z charakterystykami $\cos \phi(P)$ i $P(f)$.

Jeżeli chodzi o odkształcenia harmoniczne prądów i napięć, to zauważalna jest zależność poziomu harmonicznych w prądzie od wartości wytwarzanej mocy. Dla małych wartości mocy względny udział harmonicznych w prądzie jest znaczący. Wraz ze wzrostem mocy generowanej powyżej 20% mocy maksymalnej obserwuje się zmniejszenie odkształceń generowanego prądu, ale nie powoduje to przekroczenia dopuszczalnej wartości THD.

Zaobserwowano również występowanie asymetrii napięcia powodowane opóźnieniem nasłonecznienia Modułu 3

(Bloku 3), zwłaszcza przy wysokich poziomach nasłonecznienia. Pojawiająca się asymetria nie przekracza jednak dopuszczalnej w sieci niskiego napięcia wartości 2%.

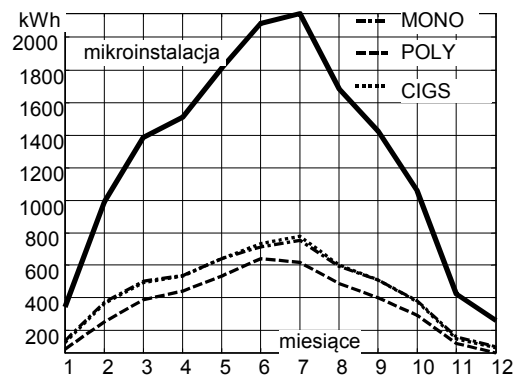
Produkcja energii elektrycznej z fotoogniw silnie zależy od warunków atmosferycznych przede wszystkim od nasłonecznienia, wiatru i temperatury powietrza. W tabelicy 1 podano wartości energii elektrycznej wytworzonej w poszczególnych latach.

Tabela 1. Energia wytworzona przez mikroinstalację fotowoltaiczną w latach 2012–2014 oraz czas wykorzystania zainstalowanej mocy

Rok	2012	2013	2014
Energia wytworzona, kWh	15540	13672	15146
Roczny czas wykorzystania mikroinstalacji, godz.	1036	911	1010

Czas wykorzystania mikroinstalacji otrzymany z podzielenia wytworzonej energii przez moc zainstalowaną mikroinstalacji jest w przybliżeniu równy 1000 godzin w roku, co jest wartością charakterystyczną dla warunków pogodowych w Polsce. Najkorzystniejsze warunki pogodowe wystąpiły w 2012 r., a najgorsze – w 2013 r. Na rysunku 4 przedstawiono wartości energii wyprodukowanej przez mikroinstalację fotowoltaiczną 15 kW w 2014 r. z podziałem na miesiące i rodzaje paneli.

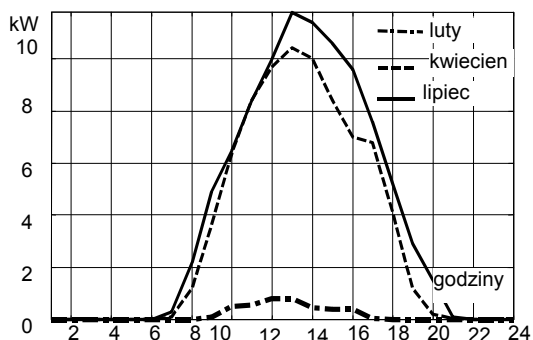
W każdym miesiącu produkcja energii elektrycznej przez ogniwa polikrystaliczne (POLY) jest najmniejsza. Spowodowane jest to tym, że ogniwa te zostały zainstalowane na innej połaci dachu budynku D-1, niż ogniwa monokrystaliczne (MONO) i cienkowarstwowe (CIGS). Pomimo tego, że ogniwa polikrystaliczne posiadają najwyższą sprawność rzędu 15,5%, nie są w stanie wyprodukować tyle samo energii elektrycznej jak pozostałe ogniwa. Z przebiegu krzywych miesięcznej generacji pokazanej na rysunku 4 widać, że miesiące od marca do października decydują o rocznej produkcji energii.



Rys. 4. Miesięczne wytwarzanie energii przez poszczególne moduły oraz sumarycznie przez mikroinstalację fotowoltaiczną 15 kW w 2014 r.

Na rysunku 5 pokazano jak kształtuje się wytwarzana moc mikroinstalacji w 3 typowych dobach roku. Najkorzystniej kształtowała się krzywa mocy w lipcu, kiedy to mikroinstalacja wytwarzała moc od godz. 6.00 do godz. 21.

Wytwarzanie mocy przez mikroinstalację fotowoltaiczną 15 kW ma podobne uwarunkowania pogodowe jak wszystkie inne mikroinstalacje fotowoltaiczne w kraju. Największa moc jest generowana w godzinach południowych. Taki przedział dnia pokrywa się z rannym szczytem zapotrzebowania mocy w KSE.



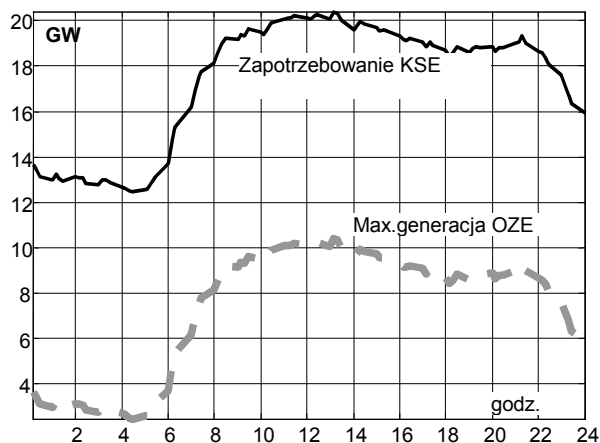
Rys. 5. Zmiany wytwarzanej mocy w typowych dobach 2014 r.: 26 lutego, 18 kwietnia i 8 lipca

Tablica 2. Bilans mocy w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym 8 lipca 2014 r w szczycie rannym i wieczornym

Szczyt	Zapotrzebowanie KSE	Saldo wymiany KSE	Generacja KSE	Remonty
	MW	MW	MW	MW
Poranny	21732	-257	21991	9392
Wieczorny	19786	-115	19896	9313

W tablicy 2 przedstawiono bilans mocy w KSE w dniu 8 lipca 2014 roku, według danych dostępnych na stronie internetowej Polskich Sieci Elektroenergetycznych [6]. Należy zwrócić uwagę na dużą wartość mocy remontowanych jednostek wytwórczych, bliską 10 GW, osłabiających zdolności wytwórcze KSE. W miesiącach letnich KSE jest dodatkowo osłabiony remontami linii przesyłowych.

Maksymalna generacja z odnawialnych źródeł może być oszacowana jako różnica między zapotrzebowaniem mocy i minimum technicznym KSE. Minimum techniczne KSE jest warunkowane pracą bloków ciepłych biorących udział w regulacji częstotliwości. Należy pamiętać, że minimalna moc wytwarzana przez bloki ciepłe kształtuje się na poziomie około 60% mocy znamionowej, bloki te nie mogą być wyłączane w dowolnej chwili doby, gdyż ich rozruch trwa około 5–6 godzin. Na rysunku 6 przedstawiono krzywą zapotrzebowanie dobowego oraz maksymalną możliwą do wprowadzenia generację OZE w dniu 8 lipca 2014 r, przy założeniu, że minimum techniczne KSE w tej dobie wynosiło 10 GW.

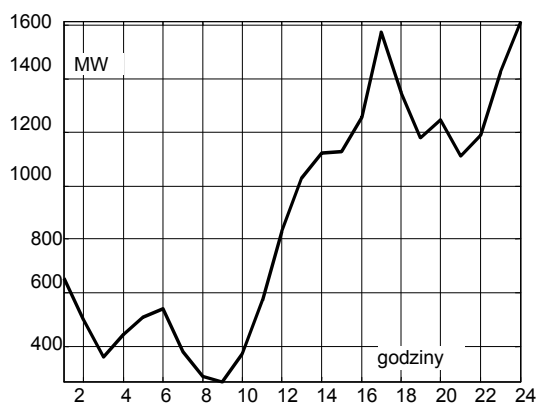


Rys. 6. Oszacowanie maksymalnej dobowej generacji OZE wynikająca z zapotrzebowania mocy i minimum technicznego KSE w dniu 8 lipca 2014 r.

Wraz ze wzrostem poziomu życia, w kraju przybywa urządzeń klimatyzacyjnych, co powoduje, że największe zapotrzebowanie mocy nie występuje w szczycie wieczornym, ale w szczycie rannym, w przedziale godzinowym 12.00–13.00 i odpowiada wysokim temperaturom na zewnątrz. Właśnie duży wzrost zapotrzebowania mocy 26 czerwca 2006 roku ok. godz. 13 spowodował utratę stabilności napięciowej w centralnej i północno-wschodniej Polsce [7].

Okres lata to również okres wzmożonych remontów w elektrowniach i w sieci przesyłowej. Wszelka dodatkowa generacja słoneczna i wiatrowa jest w lecie bardzo pomocna w bilansowaniu mocy w KSE. Na rysunku 6 pokazano jak kształtowała się generacja wiatrowa 8 lipca 2014 r.

Z porównania krzywych dobowych generacji fotowoltaicznej i wiatrowej widać, że z punktu widzenia bilansowania mocy w KSE w szczytach rannych upalnych dni lata korzystniejsza jest jednak generacja fotowoltaiczna, gdyż osiąga ona największe wartości przy największym zapotrzebowaniu mocy.



Rys. 7. Przebieg dobowy mocy wytwarzanej w KSE przez elektrownie wiatrowe 8 lipca 2014 r.

3. WNIOSKI KOŃCOWE

W krajowych warunkach pogodowych roczny czas wykorzystania mikroinstalacji fotowoltaicznych wynosi około 1000 godzin, co w przypadku mocy zainstalowanej 10 kW odpowiada wytworzeniu 10 MWh energii elektrycznej w ciągu roku.

Zaletą generacji fotowoltaicznej w porównaniu z generacją wiatrową jest fakt, że osiąga ona największe wartości w upalni dni lata, w szczycie rannym, kiedy o zapotrzebowaniu mocy decyduje pobór mocy przez urządzenia klimatyzacyjne.

4. BIBLIOGRAFIA

1. Ustawa o OZE. Projekt z lipca 2014 r., <http://www.mg.gov.pl/>.
2. Sobierajski M., Rojewski W., Technical conditions of micro-generator connection to a low voltage network taking into account valid rules and practices applied in Europe and Poland, Acta Energetica 2014, 4/21 (December 2014), s.116–124.
3. Sobierajski M., Rojewski W., Kobusiński M., Sikorski T., Przyłączanie mikroinstalacji i małych instalacji do sieci rozdzielczej nN. Przewodnik. Raporty Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012.
4. Sikorski T., Monitoring i ocena jakości energii w sieciach elektroenergetycznych z udziałem generacji rozproszonej. Prace Naukowe Instytutu Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej 49, Seria: Monografie 18, Wrocław 2013.

5. Janik P., Photovoltaic power generation assessment based on advanced signal processing and optimisation techniques. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2014.
6. www.pse.pl, strona internetowa Operatora Systemu Przesyłowego.
7. Sobierajski M., Rojewski W., Po czerwcowej awarii 2006 roku, czyli warunki bezpiecznego przesyłu energii elektrycznej, *Automatyka Elektroenergetyczna* 2007, nr 3, s. 36–41.

THE COOPERATION OF A PHOTOVOLTAIC MICROINSTALLATION WITH ELECTRICAL POWER SYSTEM

The analysis of 15 kW PV microinstaliation has been done in the paper. The PV microinstallation is placed on the roof of the building D-1 at Wrocław University of Technology. This PV microinstallation is connected to the low voltage network which supplies the new campus building with air conditioning. The generation of energy and power in the range of annual, monthly and daily is discussed. Power generation at the peak of the early summer months is compared with the daily wind generation on the background of total power demand and generation in the National Power System.

Keywords: renewable energy sources, microinstallation PV, electrical power system