

## Praca zasobnika energii elektrycznej w sieci z generacją rozproszoną

**Streszczenie:** Coraz więcej mocy w systemie elektroenergetycznym pochodzi z odnawialnych źródeł energii. Zarówno właściciele niewielkich gospodarstw domowych, jak i duże ośrodki przemysłowe montują własne źródła energii. W związku ze zmiennym profilem zarówno obciążenia, jak i generacji istnieje potrzeba realizowania coraz szerszych badań w tej dziedzinie. W artykule przedstawiono wyniki badań na temat współpracy systemu elektroenergetycznego, źródła o profilu generacji obrazującym rzeczywistą instalację, obciążenia o profilu przemysłowym oraz kilku wybranych zasobników energii.

**Słowa kluczowe:** generacja rozproszona, mikrogrid, obciążenie o profilu przemysłowym, system fotowoltaiczny, zasobnik energii.

### **Work of energy storage in a microgrid with distributed generation**

**Summary:** More and more power in the power system comes from renewable energy sources. Both owners of small households and CEO's of large industrial companies install their own energy sources. Due to the variable profile of both load and generation, there is a need for more and more research in this field. The paper presents results of studies on the cooperation between a power system, a source with a generation profile corresponded with real installation, an industrial load and several selected energy stores.

**Keywords:** distributed generation, microgrid, industrial profile of load, photovoltaic system, energy storage.

## 1. Wprowadzenie

Za sprawą polityki Unii Europejskiej w systemie elektroenergetycznym pojawia się coraz więcej źródeł rozproszonych – systemy fotowoltaiczne, farmy wiatrowe, a także elektrownie wykorzystujące biopaliwa. Instalacje są przyłączane nie tylko przez prywatnych odbiorców energii elektrycznej, ale również przez duże przedsiębiorstwa i zakłady

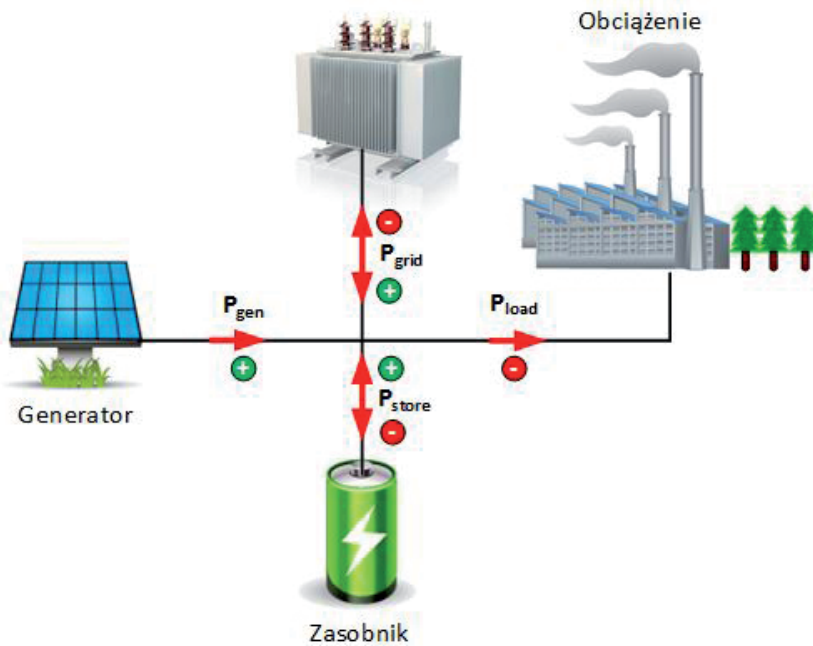
przemysłowe [5]. Ze względu na zmienne profile obciążenia oraz generacji rośnie potrzeba prowadzenia badań w tej dziedzinie. Wychodząc naprzeciw nowym wymaganiom, na Politechnice Wrocławskiej są prowadzone prace eksperymentalne. W tym celu na dachu budynku Wydziału Elektrycznego zainstalowano badawczy system fotowoltaiczny o mocy 15 kW (rysunek 1). System składa się z trzech modułów złożonych z ogniw monokrystalicznych, polikrystalicznych oraz cienkowarstwowych o przybliżonej mocy 5 kW każdy, włączonych do sieci elektrycznej poprzez osobne inwertery [4].



Rys. 1. System fotowoltaiczny na dachu budynku D-1 Politechniki Wrocławskiej

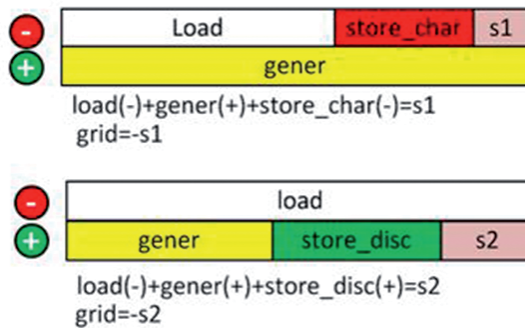
Źródło: fot. z [2].

Na podstawie danych uzyskanych z instalacji fotowoltaicznej skonstruowano model odzwierciedlający rzeczywistą instalację o mocy 60 kW. Następnie, wykorzystując standardowe profile obciążeń przemysłowych dla wybranego tygodnia, w lutym oraz w lipcu wykonano symulację pracy systemu elektroenergetycznego dla dwóch różnych zasobników włączonych do instalacji. Symulacje przeprowadzono przy użyciu środowiska Matlab dla uproszczonego modelu systemu (rysunek 2) i wybranego scenariusza sterowania przepływem energii (rysunek 3). W końcowym etapie analizy skalowano uzyskane profile tak, aby odpowiadały one typowemu zużyciu energii obiektów takich jak kopalnia miedzi, o średniej mocy ok. 65 MW.



Rys. 2. Uproszczony model badanego systemu mikroscieci

Źródło: oprac. własne.



Rys. 3. Scenariusz sterowania przepływem energii mikroscieci

Źródło: oprac. własne.

Wybrany model sterowania przepływem energii (rysunek 2) zakłada dodatnie znaki mocy przy generacji pochodzącej od generatora fotowoltaicznego, oba znaki przy mocy pochodzącej z systemu i z zasobnika, oraz wyłącznie ujemny znak przy mocy wpływającej do obiektu będącego obciążeniem.

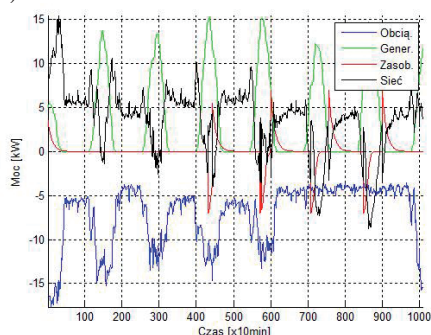
Scenariusz (rysunek 3) opiera się na obliczaniu i wyborze akcji, dla której wystąpi minimum wartości bezwzględnej współczynników  $s1$  oraz  $s2$ . Współczynniki te odpowiadają wartości i kierunkowi wymiany energii pomiędzy siecią elektroenergetyczną i mikrosciecią.

Obliczane są jako suma mocy obciążenia, ładowania zasobnika i generacji dla współczynnika  $s_1$  oraz jako suma mocy obciążenia, generacji oraz rozładowywania zasobnika dla współczynnika  $s_2$ , w obu przypadkach z uwzględnieniem kierunku (znaku) przepływu energii.

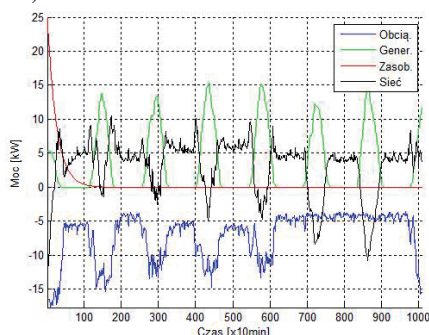
## 2. Wyniki symulacji

Symulacje przeprowadzono dla dwóch różnych zasobników firmy Tesla (Powerpack – 210 kWh, 50 kW oraz Powerwall – 13,5 kWh, 7 kW). Analiza objęła sporządzenie wykresu zbiorczego zmian mocy zasobnika, generacji, obciążenia oraz sieci elektroenergetycznej w wybranym tygodniu w lutym i w lipcu (rysunki 4–5) oraz pojedynczych wykresów dla zmian mocy zasobnika (rysunki 7–8) i generacji (rysunek 6). Następnie skalowano model i sporządzono wykres zbiorczy dla lutego i lipca (rysunek 9) oraz charakterystykę pracy wybranego zasobnika latem i zimą (rysunek 10). Dla celów analizy przyjęto moc maksymalną obciążenia 35 kW i moc zainstalowaną generacji 60 kW. Po przeskalowaniu modelu otrzymano obciążenie o maksymalnej mocy 65 MW i generację o maksymalnej mocy 60 MW oraz zasobnik o pojemności 50 MWh.

a)



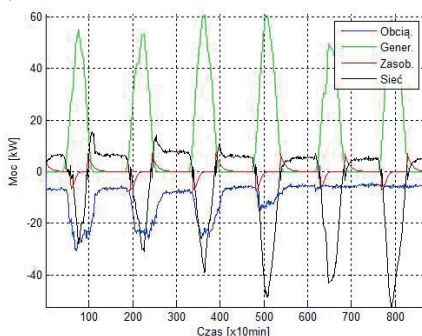
b)



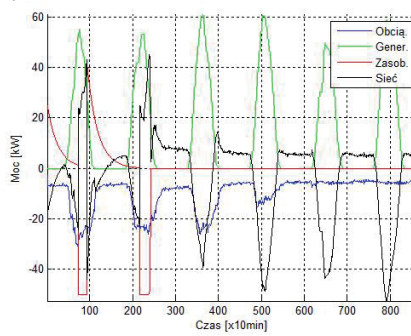
Rys. 4. Praca zamodelowanego systemu z różnymi zasobnikami w wybranym tygodniu w lutym, dla zasobników: a) 13,5 kWh, b) 210 kWh

Źródło: oprac. własne.

a)



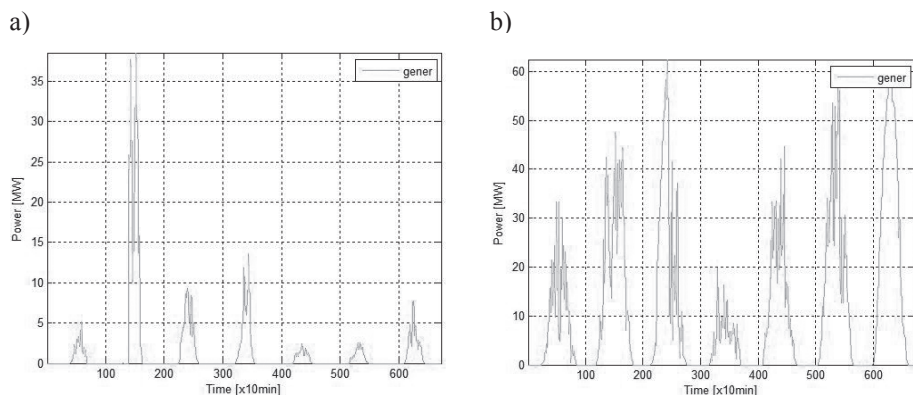
b)



Rys. 5. Praca zamodelowanego systemu z różnymi zasobnikami w wybranym tygodniu w lipcu, dla zasobników: a) 13,5 kWh, b) 210 kWh

Źródło: oprac. własne.

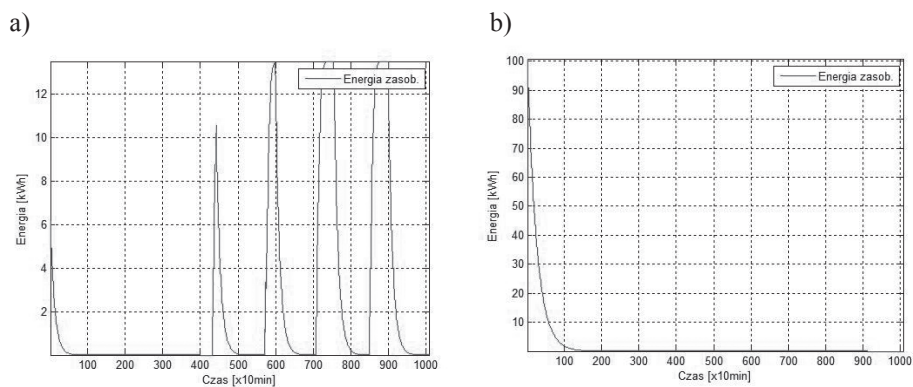
Zgodnie z założonym scenariuszem sterowania, zasobnik pomaga minimalizować ilość energii wymienianej z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym, wspomagając w ten sposób lokalne bilansowanie mocy. Sytuacja przedstawia się lepiej w lipcu, gorzej w lutym, kiedy występuje niewielka generacja z systemu fotowoltaicznego. Dobrym rozwiązaniem pomagającym rozstrzygnąć ten problem byłaby instalacja elektrowni hybrydowej złożonej z farmy wiatrowej i systemu fotowoltaicznego.



**Rys. 6.** Zmiana generowanej przez system fotowoltaiczny mocy w wybranym tygodniu: a) lutego, b) lipca

Źródło: oprac. własne.

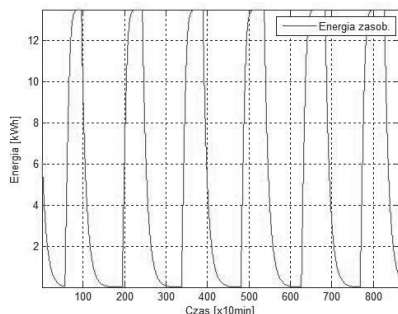
Moc generowana przez system fotowoltaiczny jest zdecydowanie większa latem niż zimą. Ma to związek z ruchem Ziemi wokół Słońca, a tym samym, zmianą kąta padania promieni słonecznych oraz jego odległością od Ziemi, czyli zwiększeniem irradancji.



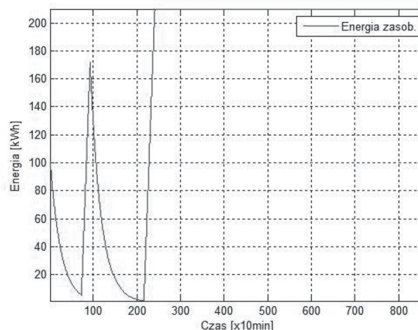
**Rys. 7.** Praca zasobnika w wybranym tygodniu lutego dla zasobnika: a) 13,5 kWh, b) 210 kWh

Źródło: oprac. własne.

a)



b)

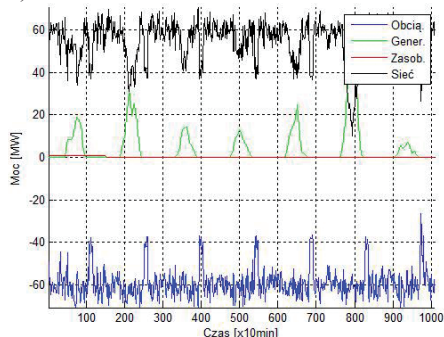


Rys. 8. Praca zasobnika w wybranym tygodniu lipca, dla zasobnika a) 13,5 kWh, b) 210 kWh

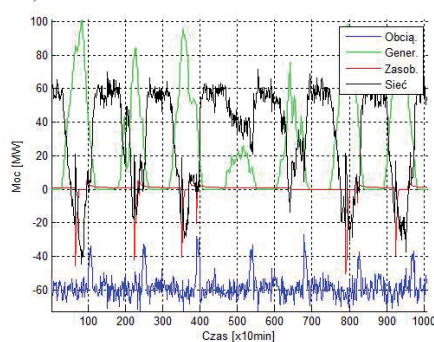
Źródło: oprac. własne.

Zasobnik energii pracuje głównie w miesiącach, w których występuje duża generacja. W przypadku małej produkcji energii większość odbiorów zasilana jest z systemu elektroenergetycznego, zasilanego mocą pochodzącą z konwencjonalnych źródeł energii.

a)



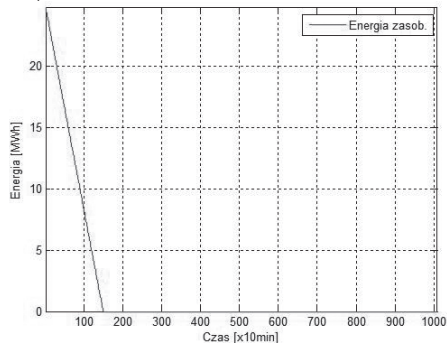
b)



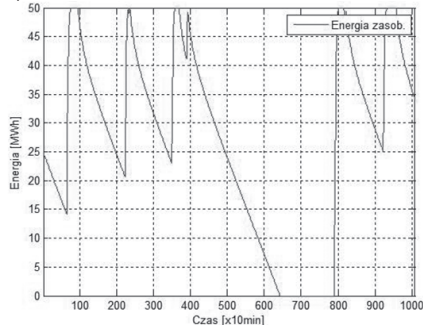
Rys. 9. Praca przeskalowanego systemu w wybranym tygodniu w lutym i lipcu

Źródło: oprac. własne.

a)



b)



Rys. 10. Praca przeskalowanego zasobnika w wybranym tygodniu lutego i lipca

Źródło: oprac. własne.



Dla przeskalowanej generacji oraz obciążenia charakter zachodzących zjawisk się nie zmienia, możliwe jest więc symulowanie pracy dużego systemu przy wykorzystaniu wcześniejszych badań.

### 3. Podsumowanie

W wyniku wymagań stawianych przez Unię Europejską pojawiać się będzie coraz więcej instalacji opartych na odnawialnych źródłach energii montowanych nie tylko przez małych, prywatnych użytkowników energii elektrycznej, ale również przez dużych graczy rynkowych, jak użytkownicy przemysłowi, pobierających większość mocy występującej w systemie elektroenergetycznym. Ze względu na charakter montowanych generacji może pojawić się problem z bilansowaniem mocy w systemie. Rozwiązaniem tego problemu są odpowiednio dobrane zasobniki energii.

W artykule przeprowadzono analizę współpracy dwóch różnych zasobników z dużym odbiorem, opartym o standardowy profil przemysłowy oraz z generacją, bazującą na systemie fotowoltaicznym zamontowanym na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej.

Mimo dużego wpływu na poprawę sytuacji systemu elektroenergetycznego, jaki wywiera odpowiednio dobrany zasobnik, w przypadku braku generacji nawet on nie jest w stanie zapewnić wystarczającej ilości energii. Istotne wydaje się więc albo zapewnienie połączenia z systemem elektroenergetycznym, albo – w przypadku pracy wyspowej – zapewnienie dostatecznie dużej generacji, np. poprzez zainstalowanie elektrowni hybrydowej opartej o system fotowoltaiczny i farmę wiatrową bądź elektrowni na biomasę i inne biopaliwa.

#### Literatura

- [1] <https://www.mitnetz-strom.de/Netzkunden-Center/Download-Center/NetznutzungNetzzugang>, stan z dnia 5.05.2017.
- [2] <https://www.sunnyportal.com/Templates/DefaultPage.aspx>, stan z dnia 5.05.2017.
- [3] Dmowski A, Kompa K., Roslaniec Ł., Szymański B., *Nowoczesne elektrownie fotowoltaiczne z zasobnikami energii połączone z systemem elektroenergetycznym*, „ActaEnergetica” 2010, nr 1, s. 81–89.
- [4] Herlender K., Rezmer J., *Badawczy System Fotowoltaiczny*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2012, R. 88, nr 12a, s. 178–180.
- [5] KGHM Polska Miedź S. A., *Pozyskiwanie energii z własnych źródeł. Elektrociepłownie przemysłowe i systemy odnawialne*, VIII Konferencja Naukowo-Techniczna Odbiorcy na Rynku Energii, 2010.
- [6] Siewierski T., Szypowski M., *Zasobniki energii elektrycznej i bilansowanie odnawialnych źródeł energii*, „Elektroenergetyka” 2012, nr 3–4 (13–14).