

**Dominika Kaczorowska**  
Politechnika Wroclawska, Wroclaw

## PROBLEMATYKA ZASOBNIKÓW ENERGII ORAZ MIKROSIECI W KONTEKŚCIE STEROWANIA PRZEPLYWEM ENERGII

### ENERGY STORAGE AND MICROGRID IN ENERGY FLOW CONTROL

**Streszczenie:** Zwiększona liczba rozproszonych źródeł energii w sieci oraz ich nieregularna, losowa generacja powoduje powstawanie problemów z bilansowaniem mocy w systemie elektroenergetycznym. Ważnym elementem mikrosieci, który pozwala na zwiększenie kontroli nad przepływem wytwarzanej energii, są zasobniki energii. W artykule przedstawiono krótkie zestawienie istniejących zasobników oraz szczegółowo omówiono rozwiązania najczęściej stosowane. Następnie na podstawie opracowanego scenariusza sterowania przepływem energii w mikrosieci, zaprezentowano rozplwy mocy oraz pracę zasobnika. Dane generacji wykorzystane podczas symulacji są rzeczywistymi danymi mierzonymi w instalacji znajdującej się na dachu budynku Politechniki Wroclawskiej znormalizowanymi do 1 kW mocy zainstalowanej. Dane odbioru pochodzą z pomiarów w sieci małej miejscowości w pobliżu Wrocławia. Zasobniki wykorzystane w prezentowanych analizach są typowymi magazynami dostępnymi komercyjnie.

**Abstract:** The increased amount of distributed energy resources in the grid and their irregular, random generation cause problems with power balancing in the power system. Energy storage is important element of microgrid. It allows to increase control over the flow of generated energy. The article presents a brief overview of existing energy storages and discusses the most frequently used solutions. Then, on the basis of the power flow control scenario in microgrid, the power flow and the work of one of the energy storage were presented. The generation data used during the simulation is the actual data collected from the installation located on the roof of the Wrocław University of Technology building, normalized to 1kW. The load come from a small town near Wrocław. The energy storage used in the presented characteristic of power flow is the Tesla storage.

**Słowa kluczowe:** zasobniki energii, system fotowoltaiczny, mikrosieć, rozproszone źródła energii

**Keywords:** energy storage, photovoltaic system, microgrid, distributed energy resources

#### 1. Wstęp

Na przestrzeni ostatnich lat ilość instalacji fotowoltaicznych przyłączanych zarówno do gospodarstw domowych, jak i obiektów przemysłowych, gwałtownie wzrosła. Przyczyniły się do tego nie tylko cele stawiane przez Unię Europejską, ale również rozwój technologii, stojącej za odnawialnymi źródłami energii. Postęp techniczny nie nastąpił jednak wyłącznie w odniesieniu do produkcji źródeł fotowoltaicznych, ale także w kontekście możliwości sterowania elementami mikrosieci, składającej się z generacji, zasobnika energii i odbioru. Mikrosieć zwykle współpracuje z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym.

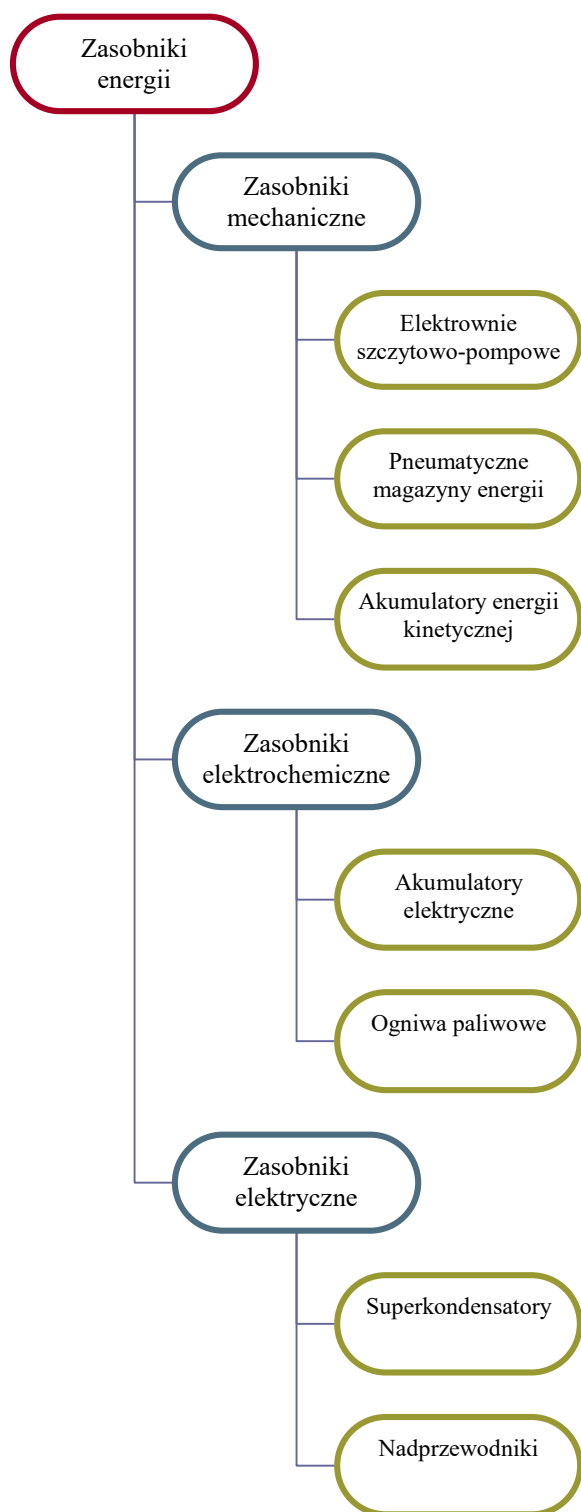
Zasobniki energii, oprócz funkcji magazynowania energii, spełniają również istotną rolę w bilansowaniu mocy w systemie. W czasie nadmiaru generacji mogą odbierać energię, a w czasie jej braku, mogą działać jak źródło. Możliwe jest więc bilansowanie mocy już na poziomie mikrosieci poprzez minimalizację współpracy z zewnętrznym systemem elektro-

energetycznym, co może być korzystne na przykład ze względu na zawartą umowę taryfową z dostawcą energii.

##### 1.1. Zasobniki energii elektrycznej

Zasobniki energii elektrycznej pozwalają na magazynowanie energii w różnej postaci, a następnie jej zamianę na energię elektryczną. Ze względu na sposób magazynowania energii, zasobniki energii możemy podzielić na: mechaniczne, elektrochemiczne oraz elektryczne (Rys. 1).

Zasobniki mechaniczne zamieniają energię mechaniczną na elektryczną. Najpopularniejszym typem zasobnika mechanicznego są elektrownie szczytowo-pompowe. W czasie nadmiaru generacji, woda pompowana jest do górnego zbiornika. Kiedy pojawia się zapotrzebowanie na zgromadzoną energię, spuszczana jest do zbiornika, znajdującego się na dole, uruchamiając turbinę z generatorem, co umożliwia produkcję energii elektrycznej.



Rys. 1. Podział zasobników energii ze względu na sposób magazynowania energii

Pneumatyczne magazyny energii gromadzą energię w postaci sprężonego powietrza. W okresie nadwyżki produkcji, powietrze sprężane jest w podziemnym lub naziemnym zbiorniku. W okresie niedomiaru energii, powietrze jest rozprężane, napędzając turbiny połączone

do generatorów. Trzecim typem zasobnika mechanicznego jest akumulator energii kinetycznej, który gromadzi energię w postaci energii kinetycznej poruszających się elementów, np. obracającego się koła zamachowego

Wtórne ogniwa elektrochemiczne, inaczej akumulatory, gromadzą energię w postaci chemicznej. Zasada działania akumulatorów opiera się na powstawaniu różnicy potencjałów dwóch różnych elektrod zanurzonych w elektrolicie. Drugim, nietypowym z powodu braku procesu magazynowania, rodzajem zasobnika chemicznego są ogniwa paliwowe. Energia elektryczna wytwarzana jest w wyniku zachodzenia reakcji utleniania paliwa, dostarczanego z zewnątrz.

Inaczej, niż superkondensatory, które gromadzą energię w polu elektrycznym, nadprzewodniki działają na zasadzie gromadzenia energii w polu magnetycznym cewek indukcyjnych, które wykonane są z nadprzewodników.

Do współpracy z źródłami opartymi na fotowoltaice najczęściej wykorzystywane są dwa rodzaje zasobników energii: superkondensatory oraz akumulatory elektryczne [2].

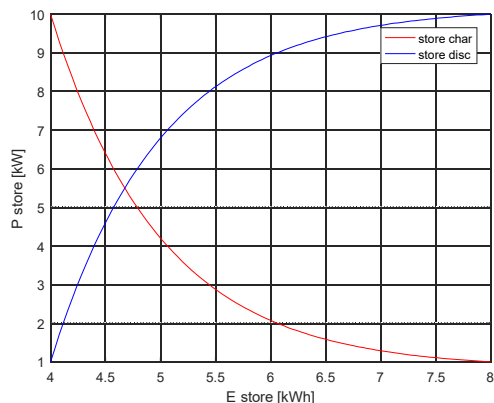
## 1.2. Porównanie akumulatorów i superkondensatorów

Ze względu na stosunkowo niską cenę w stosunku do pojemności, krótkotrwałą możliwość obciążenia dużymi prądami oraz prosty układ ładowania [3] najpopularniejszym magazynem energii do współpracy z rozproszonymi źródłami są akumulatory elektryczne.

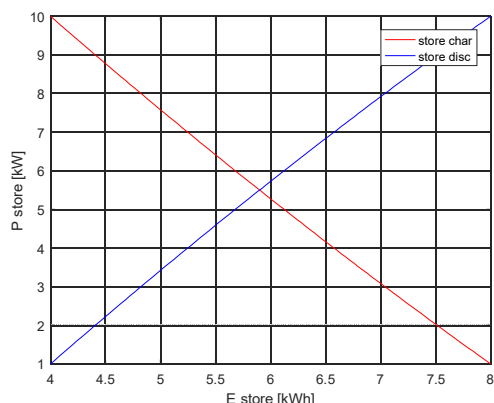
Mimo dużej popularności akumulatorów, z coraz większym zainteresowaniem spotykają się superkondensatory. Ze względu na możliwość pracy w szerokim zakresie temperatur (od  $-45$  do  $65$  °C), szybki czas uzupełniania energii (kilka minut) oraz dużą trwałość (do 1000000 cykli ładowania) bardzo dobrze sprawdzają się w środowisku, w którym występują częste wahania mocy. Superkondensatory pełnią wtedy funkcję magazynu energii, gromadząc nadmiar energii i podtrzymując napięcie przy zaniku zasilania z sieci zasilającej [1].

Na uwagę zasługują takie zalety akumulatorów jak: mała gęstość mocy i duża gęstość energii oraz stosunkowo niewielka cena. Jednak długi czas ładowania (nawet kilka godzin) oraz duża zależność parametrów od temperatury znacząco ograniczają możliwości ich szerokiego stosowania. Mimo że superkondensatory charakteryzują się krótkim czasem ładowania i szerokim

zakresem temperatury pracy, są elementami drogimi. Ważnym parametrem zasobników energii są ich charakterystyki ładowania i rozładowania (Rys. 2-3).



Rys. 2. Charakterystyki ładowania i rozładowania akumulatora



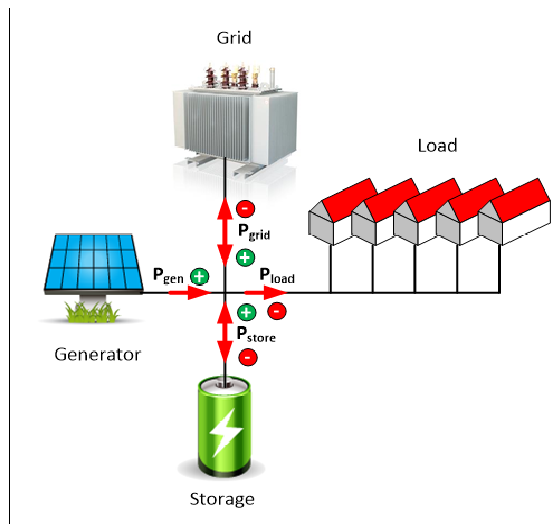
Rys. 3. Charakterystyki ładowania i rozładowania superkondensatora

Charakterystyczne punkty obu charakterystyk to moc maksymalna i minimalna, energia maksymalna i minimalna oraz współczynnik odpowiedzialny za szybkość zmian charakterystyk.

## 2. Wykorzystywany model

### 2.1. Model układu

Zastosowany podczas badania przepływów energii model układu składa się z instalacji fotowoltaicznej, obciążenia, zasobnika energii oraz sieci wewnętrznej. W przypadku poboru energii przez element modelu, kierunek przepływu oznaczony jest znakiem minus, w przypadku oddawania energii, znakiem plus (Rys. 4).



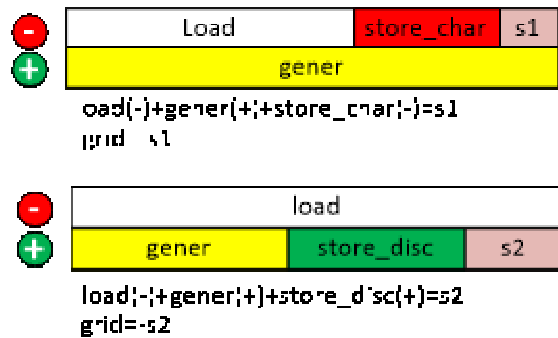
Rys. 4. Prosty model analizowanej mikro sieci

Wykorzystane w analizach dane dotyczące generacji oraz obciążenia są danymi rzeczywistymi, skalowanymi na potrzeby analizy. Przeskalowana wielkość instalacji fotowoltaicznej wynosi 60 kW. Kluczowym elementem modelu jest zasobnik energii 13,5 kWh firmy Tesla, który w przypadku generacji wyższej od obciążenia, pobiera część lub całość wyprodukowanej energii, a gdy wartość obciążenia przekracza wartość generacji, zasobnik oddaje zgromadzoną wcześniej energię. Nawet tak proste sterowanie pracą zasobnika, pozwala zwiększyć efektywność pracy całej mikro sieci. Mimo nieskomplikowanej struktury, model oddaje charakter przepływów występujących w rzeczywistym układzie. W oparciu o cel, jakim była minimalizacja wymiany energii z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym, stworzony został prosty scenariusz sterowania pracą mikro sieci.

### 2.2. Scenariusz sterowania przepływem energii

Proponowany scenariusz sterowania przepływem energii w mikro sieci w praktyce dotyczy jednego jej elementu jakim jest zasobnik. Odpowiedni wybór wariantu i opcji sterowania na podstawie wykonywanych pomiarów polega na sterowaniu przepływem energii z zasobnika i do zasobnika. Sterowanie odbywa się przy wykorzystaniu przetwornika mocy zainstalowanego na wejściu zasobnika. Przedstawiony scenariusz (Rys. 5) realizuje algorytm sterowania oparty na celu, jakim była minimalizacja współpracy z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym. W pierwszym kroku obliczane są para-

metry  $s1$  oraz  $s2$ , liczone jako sumy mocy obciążenia, generacji oraz ładowania bądź rozładowania zasobnika. Następnie obliczane jest minimum wartości bezwzględnych parametrów  $s1$  i  $s2$ . W ostatnim kroku parametr minimalny definiuje ilość mocy wysłanej bądź pobranej z sieci.

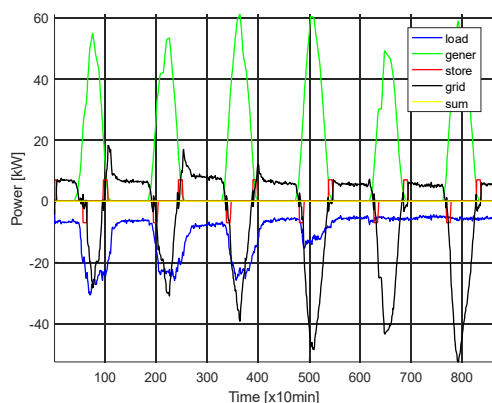


Rys. 5. Scenariusz sterowania przepływem energii w mikro sieci

Algorytm pozwala na minimalizację energii wymienianej z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym, przy pomocy zasobnika energii, wspierając tym samym lokalne bilansowanie energii

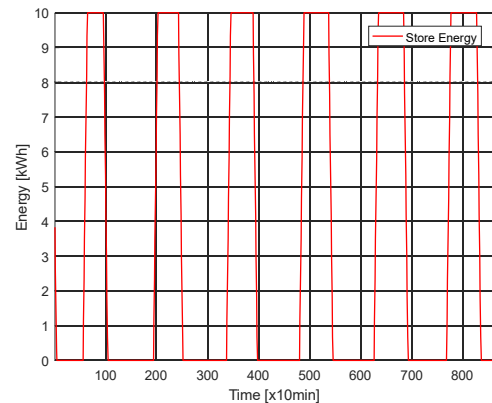
### 3. Wyniki analizy

Generacja oparta na fotowoltaice nie może pokryć całego zapotrzebowania na moc obciążenia. Ze względu na losowy charakter generacji oraz jej ścisłą zależność od pór roku, zimą generacja jest niewielka, współpraca z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym, bądź dołączenie dodatkowego źródła generacji jest konieczne.



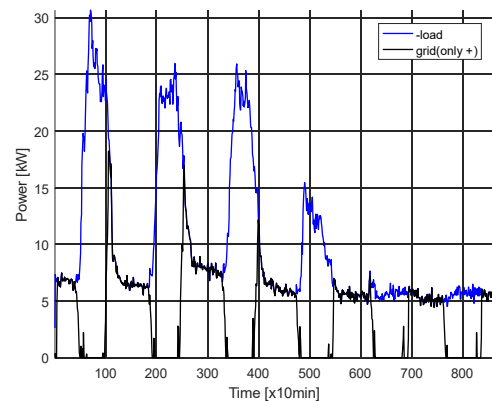
Rys. 6. Przebieg mocy generowanej przez system fotowoltaiczny (kolor zielony), mocy pobieranej i przesyłanej do sieci (kolor czarny), mocy pobieranej przez obciążenie (kolor niebieski) oraz mocy przesyłanej do i z zasobnika energii (kolor czerwony)

Odpowiednio dobrany scenariusz pozwala na optymalizację współpracy między generatorem PV, odbiorem, zasobnikiem oraz siecią. Algorytm oparty na minimalizacji ilości mocy wysyłanej i pobieranej z zewnętrznego systemu elektroenergetycznego jest jednym z wielu możliwych scenariuszy (Rys. 6-8).



Rys. 7. Przepływ energii w zasobniku

Zaprezentowane wyniki pokazują, że nawet przy prostym scenariuszu, opierającym się na sterowaniu mocą przepływającą przez zasobnik, możliwe jest takie regulowanie przepływu energii, dla którego współpraca z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym jest minimalizowana.



Rys. 8. Przebieg mocy pobieranej z sieci w przypadku braku instalacji fotowoltaicznej i zasobnika energii (kolor niebieski) oraz w przypadku mikro sieci, składającej się z obciążenia, systemu fotowoltaicznego i zasobnika energii (kolor czarny)

### 4. Podsumowanie

Zasobniki energii odgrywają ważną rolę w sterowaniu przepływami energii w sieci. Ich instalacja w mikro sieci umożliwia magazynowanie energii, gdy generacja przekracza war-

tość odbioru i oddawanie energii w przypadku, kiedy zapotrzebowanie rośnie, wspomagając tym samym lokalne bilansowanie mocy.

Mimo niewątpliwych zalet stosowania zasobników energii, nie mogą one zapewnić zasilania, gdy generacja jest zbyt mała, np. w przypadku bardzo małej generacji zimą, celem jest więc umożliwienie połączenia mikrosieci z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym.

W dobie postępu technicznego, związanego z możliwościami sterowania elementami znajdującymi się w mikrosieci, ważne jest poszukiwanie coraz lepszych algorytmów sterujących. Zależnie od warunków i celów, jakie chcemy uzyskać, scenariusze sterowania przepływem energii w mikrosieci mogą przybierać różne formy. Inny scenariusz stosowany jest, gdy celem jest minimalizacja współpracy z zewnętrznym systemem elektroenergetycznym, a inny, gdy priorytetem są warunki ekonomiczne. Niezależnie jednak od celu odpowiednio sformułowany algorytm sterowania pozwala zoptymalizować pracę mikrosieci.

Optymalizacja pracy mikrosieci może być realizowana nie tylko za pomocą dobrze sformu-

lowanych scenariuszy, ale również przez odpowiednie dobranie parametrów elementów, wchodzących w jej skład. Parametry elementów mikrosieci optymalizowane muszą być ze względu na wymagane kryterium oraz przyjęty algorytm sterowania.

## 5. Literatura

- [1]. K. Bednarek "Akumulatory czy superkondensatory – zasobniki energii w UPS-ach", *Elektro.info*, nr 1-2 (101), str. 54-57, 2012.
- [2]. K. Bednarek, L. Kasprzyk "Zasobniki energii w systemach elektrycznych – część 1. Charakterystyka problemu", *Academic Journals, Electrical engineering*, No 69, Poznan University of Technology, str. 199-207, 2012.
- [3]. K. Bednarek, L. Kasprzyk "Zasobniki energii w systemach elektrycznych – część 2. Analizy porównawcze i aplikacje", *Academic Journals, Electrical engineering*, No 69, Poznan University of Technology, str. 209-218, 2012

## Autorzy

mgr inż. Dominika Kaczorowska – doktorantka w Katedrze Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej  
e-mail: dominika.kaczorowska@pwr.edu.pl