

# Aspekty techniczne i ekonomiczne kompensacji mocy biernej w obiektach użyteczności publicznej

Katarzyna Strzałka – Gołuszka <sup>1)</sup>

Marcin Gołuszka <sup>1)</sup>

Jan Strzałka <sup>2)</sup>

1) FPI ELDES

2) Oddział Krakowski SEP

## 1. Wprowadzenie

W ostatnich latach coraz większego znaczenia nabiera problem jakości energii elektrycznej. Jednym z głównych powodów wzrostu zainteresowania jakością, jest rosnąca liczba urządzeń wymagających zasilania energią elektryczną o odpowiednich parametrach.

Jednym z działań mogących przyczynić się do zwiększenia efektywności energetycznej jest odpowiednie zarządzanie przepływem mocy biernej w systemie elektroenergetycznym. Zachowanie odpowiedniego bilansu zarówno mocy czynnej, jak i biernej jest gwarancją prawidłowo funkcjonującego systemu.

W referacie omówiono zagadnienia teoretyczne związane z mocą bierną: definicje, wymagania przepisów, źródła mocy biernej oraz metody kompensacji. W części praktycznej omówiono zasady doboru urządzeń kompensujących w szczególności dla obiektów użyteczności publicznej.

## 2. Podstawy teoretyczne

Racjonalna gospodarka mocą i energią elektryczną stanowi podstawowe kryterium oceny ekonomicznej działalności przedsiębiorstw i gospodarki. Większość urządzeń elektrycznych zasilanych napięciem przemiennym oprócz energii elektrycznej czynnej pobiera również energię bierną. Pierwsza z nich powstaje w efekcie przemian surowca energetycznego i może być ona zamieniona na inne postaci energii, takie jak ciepłą, mechaniczną czy świetlną. Natomiast energia elektryczna bierna, nie wykonuje żadnej pracy, potrzebna jest jednak do wytworzenia pola elektromagnetycznego, niezbędnego do poprawnego działania szeregu elementów systemu elektroenergetycznego, takich jak: transformatory, silniki, dławiki czy linie elektroenergetyczne.

Moc bierna  $Q$  [var] jest równa iloczynowi wartości skutecznych napięcia i prądu oraz sinusa kąta przesunięcia fazowego między napięciem a prądem i przedstawia ją zależność:

- dla odbiorników jednofazowych:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad (1)$$

- dla odbiorników trójfazowych:

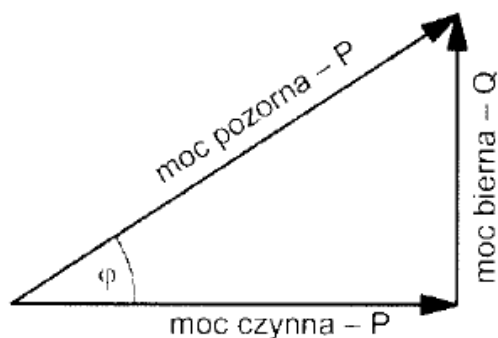
$$Q = 3U_f \cdot I_f \cdot \sin\varphi \quad (2)$$

gdzie:

$U_f, I_f$  – wartości skuteczne napięć i prądów fazowych,

$U, I$  – wartości skuteczne napięć i prądów przewodowych.

Na rysunku 1 przedstawiono graficzną interpretację zależności pomiędzy mocami, tzw. Trójkąt mocy. Wynika z niego, że doskonałym rozwiązaniem jest sytuacja kiedy moc czynna i moc pozorna są sobie równe, wtedy moc bierna jest równa zero.



Rys.1. Trójkąt mocy

Miarą składowej biernej prądu jest współczynnik mocy  $\cos\varphi$ , często wyrażany również wartością współczynnika  $\tan\varphi$ , podawanego zwłaszcza w dokumentach dotyczących warunków technicznych przyłączenia do sieci elektroenergetycznej, taryfie za energię elektryczną i innych dokumentach. Przy znanej wartości współczynnika  $\tan\varphi$  można wyznaczyć wartość współczynnika mocy  $\cos\varphi$  ze wzoru:

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{\tan^2\varphi + 1}} \quad (3)$$

Przykładowe wartości współczynnika mocy  $\cos\varphi$  dla różnych odbiorników przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Przykładowe wartości współczynnika mocy  $\cos\varphi$  dla różnych odbiorników [22]

Grupy i rodzaje odbiorników		$\cos\varphi$
Źródła światła	Lampy żarowe	1,00
	Lampy fluorescencyjne	0,50 – 0,60
	Lampy sodowe	0,50 – 0,60
Napędy	Silniki zwarte	0,60 – 0,90
	Silniki z przemiennikami częstotliwości	0,70
Spawanie	Łukowe	0,50
	Oporowe	0,60
Piecze elektryczne	Indukcyjne	0,60 – 0,80
	Łukowe	0,60 – 0,80
	Oporowe	1,00

Praca odbiorników przy małej wartości współczynnika mocy  $\cos\varphi$  powoduje zwiększony pobór prądów roboczych w stosunku do pracy przy tej samej mocy czynnej i współczynnika mocy bliskim jedności. Niski współczynnik mocy powoduje szereg skutków ujemnych, takich jak:

- konieczność instalowania urządzeń wytwórczych i przetwórczych o większych mocach znamionowych,
- konieczność stosowania aparatów o większych prądach znamionowych oraz większych dopuszczalnych prądach zwarciovych,
- konieczność stosowania przewodów i kabli o większych przekrojach,

- zmniejszenie przepustowości sieci zasilających,
- zwiększenie strat energii czynnej w transformatorach, sieciach oraz instalacjach odbiorczych,
- zwiększenie spadków napięcia w transformatorach i liniach zasilających.

W nowoczesnych urządzeniach energetycznych dąży się do ograniczenia przesyłu mocy biernej poprzez całkowitą lub częściową poprawę współczynnika mocy  $\cos\varphi$ .

W zależności od odbiornika wyróżnia się dwa rodzaje energii biernej:

- energię bierną indukcyjną (pobraną) związaną z elementami indukcyjnymi, np. silniki, piece indukcyjne,
- energię bierną pojemnościową (oddaną) związaną z kondensatorami lub długimi odcinkami kabli będących pod napięciem.

W zakładach przemysłowych, w których występuje przewaga odbiorników silnikowych mamy najczęściej do czynienia z obciążeniem mocą bierną indukcyjną. Obciążenie mocą bierną pojemnościową występuje w przypadku występowania rozległych sieci kablowych lub odbiorników nieliniowych.

### 3. Wymagania przepisów dotyczące mocy biernej

Podstawowe wymagania jakie stawiane są układom zasilającym urządzenia pobierające moc bierną (indukcyjną lub pojemnościową) określone są w rozporządzeniu Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną [18]. Według aktualnych przepisów nie ma obowiązku kompensacji mocy biernej, jednak wprowadzają one pojęcie ponadumownego poboru energii biernej, który może być obciążony karami finansowymi naliczanymi przez operatorów sieci dystrybucyjnych.

Ponadumowny pobór energii biernej przez odbiorcę oznacza ilość energii biernej, który odpowiada:

- współczynnikowi mocy  $\text{tg}\varphi$  wyższemu od umownego współczynnika i stanowiącą nadwyżkę energii biernej indukcyjnej ponad ilość odpowiadającą wartości współczynnika umownego (niedokompensowanie),
- indukcyjnemu współczynnikowi mocy przy braku poboru energii elektrycznej czynnej,
- pojemnościowemu współczynnikowi mocy zarówno przy poborze energii elektrycznej czynnej, jak i przy braku takiego poboru (przekompensowanie) [20].

Standardowo wartość umownego współczynnika mocy przyjmuje się w wysokości  $\text{tg}\varphi = 0,4$ . Dopuszcza się wprowadzenie niższej wartości tego współczynnika obliczonej na podstawie indywidualnej oceny, jednak nie powinna być ona niższa niż 0,2 [15].

§ 45 ust.6 rozporządzenia [18] zawiera wzór na podstawie, którego obliczyć można opłatę za ponadumowny pobór energii elektrycznej. Zależność ta przedstawia się następująco:

$$O_b = k \cdot c_{rk} \cdot \left( \sqrt{\frac{1+\text{tg}^2\varphi}{1+\text{tg}^2\varphi_0}} - 1 \right) \cdot A \quad (4)$$

gdzie:

$O_b$  – opłata za nadwyżkę energii biernej,

$c_{rk}$  – cena energii elektrycznej,

$k$  – ustalona w taryfie krotność ceny  $c_{rk}$ ,

$\text{tg}\varphi$  – współczynnik mocy wyznaczony jako iloraz energii biernej  $Q$  i energii czynnej  $P$ , pobranej przez odbiorcę w okresie rozliczeniowym,

$\text{tg}\varphi_0$  – umowny współczynnik mocy,

A – energia czynna pobrana w danym okresie rozliczeniowym całodobowo lub w strefie czasowej, w której prowadzona jest kontrola poboru energii biernej.

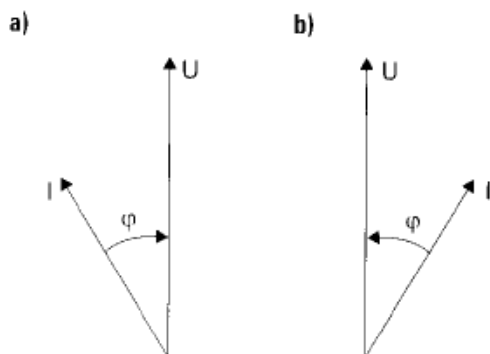
Współczynnik krotności ceny „k” przyjmuje następujące wartości:

- $k_{WN} = 0,5$  – dla odbiorców przyłączonych do sieci wysokiego napięcia,
- $k_{SN} = 1,0$  – dla odbiorców przyłączonych do sieci średniego napięcia,
- $k_{nn} = 3,0$  – dla odbiorców przyłączonych do sieci niskiego napięcia.

Na podstawie obowiązujących przepisów, rozliczeniami za pobór energii biernej objęci są odbiorcy zasilani z sieci średniego, wysokiego i najwyższego napięcia. W przypadku odbiorców zasilanych z sieci o napięciu znamionowym do 1 kV opłaty takie również mogą być naliczane, o ile zostało to określone w treści warunków przyłączenia lub umowie o świadczenie usług dystrybucji energii elektrycznej albo umowie kompleksowej (§ 45 ust.2).

#### 4. Podstawowe rodzaje odbiorników i źródeł mocy biernej

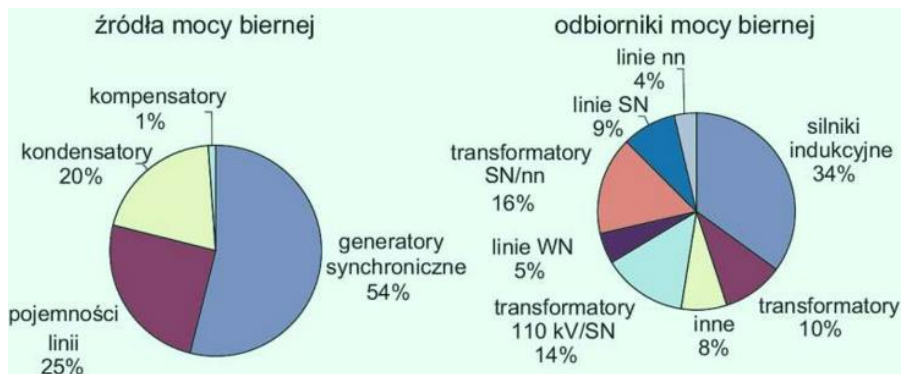
Większość urządzeń elektrycznych zasilanych napięciem przemiennym oprócz energii elektrycznej do poprawnej pracy może pobierać energię bierną. Gwałtowny skok technologii spowodował zróżnicowanie odbiorników podłączanych do sieci. Odbiorniki mogą mieć charakter indukcyjny lub pojemnościowy. Wynika to stąd, że jeżeli prąd nie jest w fazie z napięciem, lecz wyprzedza go, to mamy przypadek obciążenia pojemnościowego. Natomiast gdy występuje opóźnienie prądu względem napięcia, to obciążenie ma charakter indukcyjny [14]. Zależności te przedstawia rys. 2.



Rys.2. Wykresy wskazowe [14]:

- odbiornik o charakterze pojemnościowym ( $\varphi < 0$ ),
- odbiornik o charakterze indukcyjnym ( $\varphi > 0$ )

Ogólnie przyjęło się, że urządzenia, które w trakcie pracy pobierają moc bierną indukcyjną określane są odbiornikami mocy biernej, natomiast te, które pobierają moc bierną pojemnościową nazywane są źródłami mocy biernej. Na rys. 3. przedstawiono szacunkowy, procentowy udział podstawowych źródeł i odbiorników mocy biernej [9].



Rys.3. Szacunkowy, procentowy udział podstawowych źródeł i odbiorników mocy biernej [9]

Do podstawowych typów odbiorników energii biernej zaliczyć można:

- silniki asynchroniczne – moc bierna  $Q$  pobierana przez silnik składa się z dwóch części, mocy magnesowania (moc biegu jałowego) oraz strat mocy na reaktancji rozproszenia. Na wartość mocy biernej silnika indukcyjnego ma wpływ stopień jego obciążenia (im większe obciążenie tym większy współczynnik mocy), ponieważ moc bierna strumienia rozproszenia jest proporcjonalna do kwadratu obciążenia silnika. Wartości współczynnika mocy zależą przede wszystkim od konstrukcji silnika oraz prędkości znamionowej silnika.
- transformatory – w transformatorach moc bierna niezbędna jest na magnesowanie rdzenia, a wielkość jej zależy od kwadratu napięcia zasilającego. Współczynnik mocy transformatora zależy w dużym stopniu od wartości i charakteru jego obciążenia (wraz z wzrostem obciążenia rośnie wartość współczynnika mocy).
- źródła światła – pobór mocy biernej przez źródła światła jest ściśle związany z charakterem ich pracy. Najniższą wartość współczynnika mocy mają temperaturowe źródła światła (t.j. żarówki tradycyjne oraz halogenowe), natomiast najwyższą wartość posiadają lampy LED ( $\text{tg}\varphi = 3,3$ ) oraz świetlówki kompaktowe ( $\text{tg}\varphi = 1,23 - 1,69$ ) [20].
- odbiorniki nieliniowe – do tej grupy zaliczyć można układy prostownikowe, tranzystorowe układy mocy, wzmacniacze magnetyczne, jak i tyrystorowe układy regulacyjne itp. Charakteryzują się wysoką wartością współczynnika mocy oraz występowaniem wyższych harmonicznych, czym powodują większe straty energii elektrycznej na linii zasilającej, odkształcenie napięcia, jak i pogorszenie jakości energii doprowadzanej do innych odbiorników.

Do podstawowych źródeł mocy biernej zaliczyć można:

- generatory synchroniczne – generatory ze względu na swoją lokalizację w elektrowniach i elektrociepłowniach są naturalnym źródłem mocy biernej (o dużej mocy i niskich kosztach wytworzenia). Niestety konieczność przesyłu mocy biernej od węzła wytwórczego do końcowych odbiorców, generuje dodatkowe straty, jest więc nieekonomiczne i sprawia trudności techniczne.
- kompensatory synchroniczne – ich moc znamionowa jest na poziomie od kilkunastu do kilkudziesięciu Mvar. Stosowanie ich wiąże się jednak z ponoszeniem znacznych nakładów inwestycyjnych a także skomplikowaną eksploatacją.
- silniki synchroniczne – w przypadku silników warunkiem opłacalności jest wytwarzanie mocy biernej w czasie pracy silnika a nie przy biegu maszyny bez obciążenia mechanicznego.
- silniki asynchroniczne synchronizowane

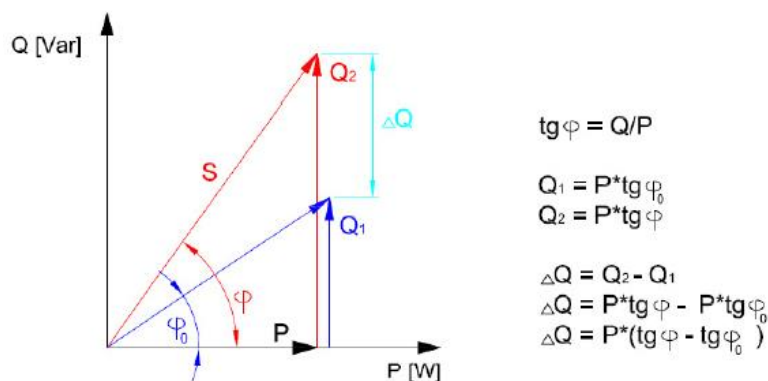
- dławiki równoległe – jednofazowe lub trójfazowe służące do kompensacji mocy biernej pojemnościowej, powstającej głównie podczas pracy urządzeń elektronicznych oraz rozległych sieci kablowych SN.
- baterie kondensatorów (kondensatory) – to najtańsze źródła mocy biernej. Posiadają szereg zalet: możliwość instalacji praktycznie w dowolnym punkcie sieci, łatwość dostosowania wielkości instalacji do występującego zapotrzebowania, bardzo niskie straty mocy czynnej oraz prosty montaż i mało pracochłonna obsługa. Do głównych wad zaliczyć należy: zależność wytwarzanej mocy biernej od napięcia w kwadracie, skokowa zmiana napięcia przy załączaniu lub wyłączaniu, jak i możliwość przeciążenia.

Warto wspomnieć również o liniach elektroenergetycznych, które mogą być zarówno odbiornikiem mocy biernej (straty mocy biernej na reaktancji linii), jak i jej źródłem (generacja mocy biernej na susceptancji pojemnościowej linii). Wartość napięcia znamionowego oraz stopień obciążenia linii decyduje o tym czy linia jest źródłem czy odbiornikiem mocy biernej.

## 5. Kompensacja mocy biernej

Odpowiednia gospodarka mocą bierną w systemach elektroenergetycznych to obecnie bardzo popularne zagadnienie. Uzyskanie odpowiednich korzyści ekonomicznych, jak również rozwiązanie wielu problemów daje zastosowanie tzw. kompensacji mocy biernej. Polega ona, najprościej mówiąc, na zastosowaniu takich urządzeń, które zmniejszą emitowanie mocy biernej. Niekorzystny współczynnik mocy, który wynika z udziału odbiorów o charakterze indukcyjnym, może być ograniczany (kompensowany) przez włączenie do sieci odbiorników o charakterze pojemnościowym (lub odwrotnie w przypadku ich dominacji).

Schemat ideowy kompensacji mocy biernej przedstawiono na rys.4.



Rys.4. Idea kompensacji mocy biernej, gdzie:

$\text{tg}\varphi_0$  – wymagany poziom współczynnika mocy,

$P$  – poziom mocy czynnej,

$Q_1$  – poziom mocy biernej przy  $\text{tg}\varphi_0$ ,

$Q_2$  – poziom mocy biernej przy  $\text{tg}\varphi$ ,

$S$  – poziom mocy pozornej,

$\Delta Q$  – ilość mocy biernej potrzebnej do skompensowania mocy biernej do wymaganego  $\text{tg}\varphi_0$ .

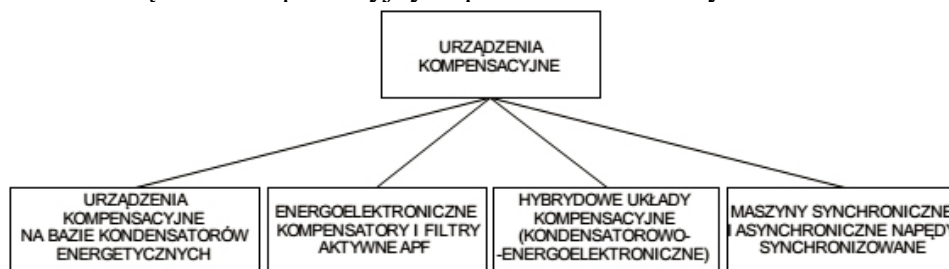
Dodatkowe korzyści ze stosowania prawidłowo dobranych układów kompensacji mocy biernej to:

- obniżenie a nawet likwidacja opłat za energię bierną pobraną, jak i oddaną do sieci,
- minimalizacja przesyłowych strat mocy czynnej w transformatorach i w przewodach zasilających, wynikających z przesyłu prądu biernego,
- zwiększenie przepustowości systemu przesyłowego,
- zwiększenie niezawodności układu zasilania,
- ograniczenie spadków napięć.

Istnieją dwa sposoby zmiany wartości współczynnika mocy: naturalny i sztuczny. Sposoby naturalne mają związek z właściwym doбором urządzeń oraz ich prawidłową eksploatacją. Opierają się głównie na: doborze silników o właściwej mocy, zastąpieniu niedociążonych silników silnikami o mniejszej mocy, unikaniu pracy silników i transformatorów na biegu jałowym, wyłączaniu odbiorów technologicznych (np. spawarek transformatorowych podczas przerw w spawaniu), odpowiedniej konserwacji silników, instalowaniu silników synchronicznych zamiast indukcyjnych oraz poprawnym doborze mocy oraz planowaniu pracy transformatorów zgodnie z planowanym ich obciążeniem.

Do sztucznych sposobów należy instalowanie w układach elektrycznych dodatkowych urządzeń, których zadaniem jest kompensacja pobieranej przez odbiorniki mocy biernej. Charakter odbiorników decyduje do zastosowanych urządzeniach do kompensacji, i tak dla odbiorników o charakterze indukcyjnym, urządzeniami do kompensacji będą kondensatory lub kompensatory synchroniczne a dla odbiorników o charakterze pojemnościowym stosuje się baterie dławikowe.

Podział urządzeń kompensacyjnych przedstawiono na rys.5.

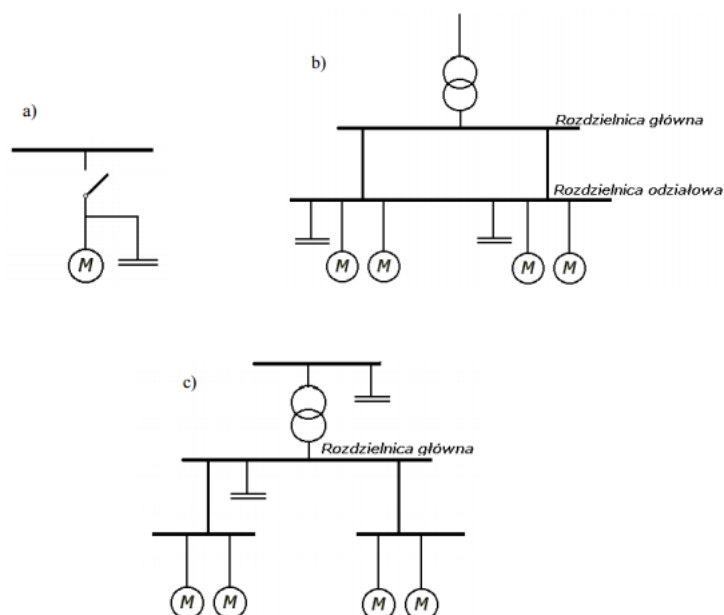


Rys.5. Podział urządzeń kompensacyjnych [3]

W zależności od zasięgu działań kompensacyjnych oraz sposobu ich realizacji wyróżnia się trzy podstawowe rodzaje kompensacji mocy biernej:

- kompensację indywidualną – polegającą na bezpośrednim przyłączeniu urządzenia kompensacyjnego do zacisków urządzenia.
- kompensację grupową – polegającą na zainstalowaniu urządzeń kompensujących w oddziałowych rozdzielnicach budynku.
- kompensację centralną – polegającą na zastosowaniu urządzeń kompensujących bezpośrednio na szynach zbiorczych w głównej stacji zasilającej (najczęściej stacji transformatorowej).

Na rys. 6 pokazano podane wyżej rodzaje kompensacji mocy biernej.



Rys.6. Rodzaje kompensacji mocy biernej a) indywidualna, b) grupowa, c) centralna.

Do optymalnego doboru urządzeń kompensacyjnych niezbędne są informacje dotyczące profilu obciążenia i parametrów elektrycznych sieci. Prawidłowy dobór kompensacji nie jest jednak zadaniem prostym i niejednokrotnie wymaga podejścia indywidualnego. Tabela 2 zawiera przykładowe grupy urządzeń kompensacyjnych przeznaczonych do różnych profili obciążenia i stanu sieci przy przekroczonym  $\text{tg}\phi$ .

Tabela 2. Grupy urządzeń kompensacyjnych przeznaczonych do różnych profili obciążenia [13]

Profil obciążenia	Proponowane urządzenia
Zmienne w czasie , symetryczne, niski poziom harmoniczných	Stycznikowe baterie kondensatorów z automatyczną regulacją, 1-fazowym pomiarem prądu, bez ochrony dławikowej
Zmienne w czasie , symetryczne, wysoki poziom harmoniczných (THDi > 30%)	Stycznikowe baterie kondensatorów z automatyczną regulacją, 1-fazowym pomiarem prądu, z ochroną dławikową (w przypadku dominacji piątej i wyższych harmoniczných, stopień tłumienia dławików $p=7\%$ , przy dominacji trzeciej harmonicznej wynosi 14%)
Szybkozmiennie (zgrzewarki, suwnice, windy)	Baterie wyposażone w łączniki tyrystorowe, ich minimalny czas reakcji wynosi 60 ms
Asymetryczne lub jednofazowe	Przy niewielkich wartościach asymetrii baterie z regulatorem umożliwiającym pomiar prądu w 3 fazach, przy dużych lub stałych wartościach asymetrii obciążenia układy kompensacji 1-fazowe (każda faza jest kompensowana przez niezależny układ)
Pojemnościowe	W przypadku występującej wartości stałej statycznej/automatyczna bateria dławików indukcyjnych, po pojawieniu się obciążenia pojemnościowego czasowo można



	zastosować hybrydowy układ baterii pojemnościowo – indukcyjnej
Zmienne – bardzo wysoki poziom THDi konkretnej harmonicznej wpływający na pracę urządzeń	Bateria w układzie filtra pasywnego dobranego do dominującej harmonicznej
Szybkozmiennie – bardzo wysoki poziom THDi (w szerokim spektrum) wpływający na pracę urządzeń	Filtr aktywny dobrany do wartości odkształconej prądu, układu sieci (filtry 3- lub 4-przewodowe)

## 6. Dobór urządzeń kompensujących dla obiektów użyteczności publicznej

Energia bierna jak już wyżej wspomniano jest niezbędna do prawidłowej pracy urządzeń i może być, bez dodatkowych opłat pobierana z sieci, jeżeli jej ilość nie przekroczy wartości ustalonej w warunkach technicznych przyłączenia. Niestety znaczna część urządzeń użytkowanych w obiektach użyteczności publicznej potrzebuje wiele więcej energii biernej, co jest przyczyną przekraczania dozwolonych limitów. Dodatkowo w niektórych przypadkach zdarza się, że naliczana zostaje opłata za tzw. przekompensowanie, czyli wprowadzenie do sieci energii biernej pojemnościowej. Do odbiorników odpowiedzialnych za naliczanie dodatkowych opłat za energię bierną zaliczyć można: silniki elektryczne, systemy klimatyzacji i wentylacji, systemy przeciwpożarowe, windy, ruchome schody, sterownice, źródła światła jak i pojedyncze gniazda sieciowe, z których z kolei zasilane są kserografy, faksy, komputery czy laptopy z zasilaczem, UPS-em oraz długie linie kablowe zasilające obiekt.

Rozwiązaniem problemu jest zastosowanie kompensacji mocy biernej, jednak aby działała skutecznie musi zostać odpowiednio dobrana. Nie należy to jednak do łatwych zadań i często wymaga indywidualnego podejścia, gdyż przeważnie zapotrzebowanie na energię elektryczną jest różne w zależności od konkretnego obiektu. Koszt prawidłowo dobranego układu do kompensacji zwraca się najczęściej po czasie od 4 do 12 miesięcy [7].

W zależności od różnych warunków urządzenia do kompensacji mocy biernej podzielić można w następujący sposób:

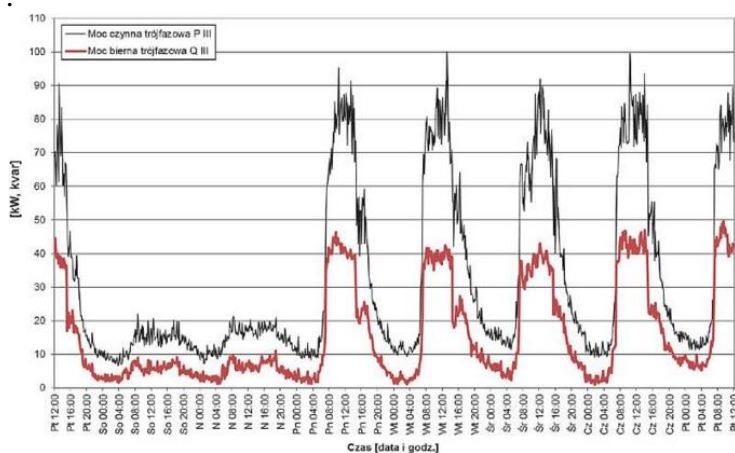
- kondensatory energetyczne jedno- i trójfazowe niskiego napięcia,
- automatyczne baterie kondensatorów niskiego napięcia,
- automatyczne baterie kondensatorów niskiego napięcia z dławikami ochronnymi,
- filtry wyższych harmonicznych z kompensacją mocy biernej pochodzącej od elementów nieliniowych,
- baterie kondensatorów SN,
- regulatory mocy biernej.

Podczas doboru urządzeń do kompensacji mocy biernej w szczególności należy zwrócić uwagę na poniższe aspekty [8]:

- Miejsce zainstalowania układu pomiarowo – rozliczeniowego – analizę gospodarki mocą bierną należy najlepiej przeprowadzić w punkcie pomiaru zużycia energii elektrycznej.
- Potrzebę kompensacji mocy biernej – znaczna część obiektów nie wymaga instalowania urządzeń do kompensacji mocy biernej lub ich instalowanie jest nieopłacalne.
- Rodzaj niezbędnych urządzeń kompensacyjnych – należy określić, czy do kompensacji mocy biernej potrzebne są kondensatory czy dławiki lub czy istnieje konieczność instalowania układu hybrydowego (zawierającego zarówno kondensatory jak i dławiki kompensacyjne).

- Miejsce zainstalowania i sposób sterowania urządzeń kompensacyjnych – najlepszym miejscem przyłączenia oraz sterowania urządzeniami kompensacyjnymi jest rozdzielnica, w której zainstalowany jest układ pomiarowo – rozliczeniowy.
- Poziom odkształceń prądów i napięć w miejscu planowanego przyłączenia urządzeń kompensacyjnych – poziom wyższych harmonicznych warunkuje stosowanie odpowiednich zabezpieczeń w układach kompensacyjnych (w przypadku baterii kondensatorów będą to dławiki ochronne, z kolei w przypadku dławików kompensacyjnych będzie to odpowiednia konstrukcja rdzenia oraz zabezpieczenia termiczne).
- Szybkość zmian poboru mocy biernej – będzie ona miała wpływ na dobór odpowiedniego układu sterowania urządzeniami kompensacyjnymi.

Na rys. 7 przedstawiono przykładowy przebieg zmian poboru mocy czynnej oraz biernej przez obiekt użyteczności publicznej a w tabeli 3 przedstawiono przykładowe koszty poboru energii biernej indukcyjnej oraz pojemnościowej [4].



Rys.7. Tygodniowy przebieg zmian poboru mocy czynnej i biernej

Tabela 3. Przykładowe koszty energii biernej indukcyjnej i pojemnościowej

	tgφ zarejestrowany/ umowny	J.m.	Liczba jednostek	Koszt jednostkowy [zł]	Kwota netto [zł]	Kwota brutto [zł]
Ponadumowny pobór energii biernej indukcyjnej (całodobowy)	1,02/0,4	kvarh	5102	0,5967	3044,2	3744,37
Rozliczenie energii biernej pojemnościowej (całodobowa)		kvarh	144	0,5987	85,92	105,68

W celu optymalnego doboru urządzeń do kompensacji mocy biernej niezbędne jest przeprowadzenie dokładnych pomiarów. Pozwolą one na precyzyjny dobór urządzeń oraz pozwolą uniknąć strat jakie można ponieść przy nieprawidłowym doborze urządzeń kompensacyjnych.

Dodatkowo należy wspomnieć o problemie poboru mocy biernej w budynkach mieszkalnych. Do tej pory przyjmowano, że odbiorniki zainstalowane w mieszkaniach nie pobierają mocy biernej, czyli współczynnik mocy jest bliski jedności. Obecnie założenie to jest dość ryzykowne, ponieważ często zamiast odbiorników klasycznych instalowane są urządzenia energooszczędne, które są źródłem wyższych harmonicznych i tym samym

zwiększają zapotrzebowanie na moc bierną. Dodatkowo problem narasta w skali całego budynku bądź osiedla.

## 7. Podsumowanie

Większość urządzeń elektrycznych zasilanych napięciem przemiennym oprócz energii elektrycznej do poprawnej pracy może pobierać energię bierną. Gwałtowny skok technologii spowodował zróżnicowanie odbiorników podłączanych do sieci. Odbiorniki mogą mieć charakter indukcyjny lub pojemnościowy.

Nowoczesne obiekty użyteczności publicznej wyposażone są przede wszystkim w układy elektroniczne (t.j. komputery, systemy zarządzania budynkiem, monitoring, ochronę przeciwpożarową, wentylację i klimatyzację), które z punktu widzenia sieci zasilającej, w większości stanowią odbiorniki pobierające moc bierną pojemnościową.

Odpowiednia gospodarka mocą bierną w systemach elektroenergetycznych to obecnie bardzo popularne zagadnienie. Uzyskanie odpowiednich korzyści ekonomicznych, jak również rozwiązanie wielu problemów daje zastosowanie tzw. kompensacji mocy biernej. Prawidłowy dobór kompensacji nie jest jednak zadaniem prostym i niejednokrotnie wymaga podejścia indywidualnego.

Szereg niekorzystnych zjawisk (t.j. zjawiska rezonansowe, odkształcenie prądów i napięć) wymuszają szczególne podejście do zagadnienia projektowania i eksploatacji urządzeń do kompensacji mocy biernej w obiektach użyteczności publicznej.

## Literatura

- [1] Bielecki S.: Analiza wybranych parametrów energii elektrycznej w budynku biurowym. Elektro info, 6/2017, str. 76÷79.
- [2] Dąbrowski K.: System kompensacji mocy biernej dla biurowca – wyzwanie czy rutyna. Wiadomości elektrotechniczne, 2013 nr 9, str. 39÷42.
- [3] Gabrysiak R.: Kompensacja mocy biernej. Elektroinstalator, 9/2013, str. 22÷25.
- [4] Gabrysiak R.: Metody i urządzenia do kompensacji mocy biernej. Elektroinstalator, 11-12/2014, str. 18÷23.
- [5] Gabrysiak R.: Kompensacja mocy biernej. Elektroinstalator, 3/2016, str. 23÷29.
- [6] Gabrysiak R.: Urządzenia do kompensacji mocy biernej. Elektroinstalator, 3/2017, str. 30÷32.
- [7] Herlender K., Żebrowski M.: Kompensacja mocy biernej jako jeden z elementów poprawy efektywności energetycznej. Elektro info, 12/2014, str. 25÷27.
- [8] Hołodyński G., Skibko Z.: Problemy kompensacji mocy biernej w nowoczesnych układach elektroenergetycznych. Elektro info, 12/2016, str. 64÷67.
- [9] Hołodyński G., Skibko Z.: Kompensacja mocy biernej przy przebiegach odkształconych (część 1). Elektro info, 1-2/2017, str. 56÷58.

- [10] Hołodyński G., Skibko Z.: Kompensacja mocy biernej przy przebiegach odkształconych (część 2). Elektro info, 4/2017, str. 88÷90.
- [11] Hołodyński G., Skibko Z.: Kompensacja mocy biernej – zagadnienia wybrane (część 1) odbiorniki i źródła mocy biernej. Elektro info, 9/2017, str. 110÷111.
- [12] Hołodyński G., Skibko Z.: Kompensacja mocy biernej – zagadnienia wybrane (część 2) odbiorniki i źródła mocy biernej. Elektro info, 10/2017, str. 46÷47.
- [13] Iwanicki M.: Kompensacja mocy biernej. Jak wyeliminować opłaty za pobór energii biernej? Informator instalacyjny – murator, 2016, str. 282÷285.
- [14] Kuczyński K.: Kompensacja mocy biernej w sieciach nn. Elektro info, 12.2010, str. 38÷39.
- [15] Kuczyński K.: Moc bierna a opłaty za energię elektryczną. Elektro info, 12/2015, str. 30÷32.
- [16] Łukiewski M.: Kompensacja mocy biernej pojemnościowej z zastosowaniem dławików indukcyjnych. Napędy i sterowanie, Nr 11, listopad 2005, str. 75÷77.
- [17] Matyjasek Ł.: Nowoczesne urządzenia do kompensacji mocy biernej. Wiadomości elektrotechniczne, 2017 nr 5, str. 14÷17.
- [18] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 7 czerwca 2013r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf i rozliczeń w obrocie energią elektryczną (Dz.U. poz. 1200).
- [19] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. (Dz. U. z 2007r., Nr 93, poz. 623).
- [20] Skibko Z., Wiśniewski R.: Kompensacja mocy biernej w obiektach przemysłowych. Wiadomości elektrotechniczne, 2015 nr 9, str. 56÷58.
- [21] Skiliński R., Hołodyński G., Skibko Z.: Kompensacja mocy biernej w nowoczesnych obiektach użyteczności publicznej. Wiadomości elektrotechniczne, 2014 nr 5, str. 30÷33.
- [22] Świerżewski M.: Kompensacja mocy biernej. Elektrosystem, listopad 2011, str. 116÷122.