

Problematyka rozliczeń za użytkowanie mocy biernej

The problem of settlements for reactive power utilization

Zgodnie z klasycznym rozumieniem pojęć elektrotechniki teoretycznej, urządzenia elektryczne zasilane prądem przemennym okresowym pobierają poza mocą czynną również moc bierną. Związane jest to z przesunięciem fazy prądu względem napięcia, spowodowanym m.in. obecnością w obwodzie elementów reaktancyjnych. Rozważając problem racjonalnego użytkowania mocy i energii elektrycznej, należy mieć na uwadze pewne aspekty związane z rolą i znaczeniem mocy biernej. W szczególności, wielkość mocy biernej w systemie elektroenergetycznym (SEE) wpływa na:

- zdolności przepustowe gałęzi sieci,
- straty mocy i energii czynnej,
- moduły napięć w węzłach sieci,
- zapas stabilności napięciowej SEE.

Zapewnienie stabilności SEE wymaga właściwego bilansowania mocy biernej. Warto zwrócić uwagę, że w ustawie *Prawo energetyczne* bilansowanie systemu określone jest jako „działalność gospodarcza”, co wzmacnia konieczność przyjęcia dokładnych zasad świadczenia tej usługi.

Z drugiej strony, przesył mocy biernej obciąża sieć elektroenergetyczną (straty energii powodowane składową bierną prądu). Zatem, wytwarzanie i pobieranie mocy biernej powinno podlegać rozliczeniom finansowym pomiędzy użytkującymi ją podmiotami, tj. między operatorami sieci (zarówno dystrybucyjnych – OSD jak i przesyłowych – OSP) oraz odbiorcami i wytwórcami. Moc bierna może pojawiać się w jednym z dwóch antagonistycznych charakterów: pojemnościowym lub indukcyjnym. W instalacjach odbiorczych użytkowane są powszechnie urządzenia wykorzystujące moc bierną zarówno o jednym jak i drugim charakterze, zatem odbiorcy energii elektrycznej są naturalnymi prosumentami w zakresie gospodarowania tą mocą (mogą w zależności od sytuacji, zarówno produkować jak i pobierać moc bierną indukcyjną/pojemnościową). Wobec powyższego, postuluje się uznanie użytkowania mocy biernej jako usługi systemowej, wykonywanej na rzecz operatora sieci przez podmioty przyłączone do tejże sieci. Użytkowanie mocy biernej powinno więc być odpowiednio rozliczane finansowo, tworząc przy tym sygnały sprzyjające racjonalnemu gospodarowaniu energią i wpływać pozytywnie na bezpieczeństwo pracy sieci i systemu elektroenergetycznego. Od strony technicznej należy w tym celu wykorzystać potencjał infrastruktury rozwijanej w ramach idei sieci inteligentnych (SmartGrid).

Obecnie praktykowane mechanizmy kształtowania opłat za użytkowanie mocy biernej zasadniczo różnią się w zależności od kraju. Rozważane są też teoretycznie różne koncepcje prowadzenia takich rozliczeń w kontekście funkcjonowania zasad rynkowych w energetyce.

Moc bierna i jej rozliczenia – problematyka badawcza

W sprawie tematów związanych z mocą bierną, poza rozważaniami związanymi z wpływem tej mocy na system elektroenergetyczny, spotyka się w literaturze trzy główne nurty tematyczne. Pierwszy związany jest z problemem definiowania pojęcia i wyznaczania mocy biernej w obwodach elektrycznych z dowolnymi przebiegami prądów i napięć (teoria mocy obwodów elektrycznych). Drugi dotyczy szeroko pojętej optymalizacji mocy biernej, poszukiwane są m.in. metody rozwiązywania różnie nazywanych zadań (optimal reactive power: flow, dispatch, placement, planning, control), a w istocie sprowadzających się do problemu kompensacji mocy biernej w sieci w celu ograniczenia strat energii, poprawy profili napięciowych oraz dodatkowo ograniczenia kosztów. Trzecia grupa obejmuje prace dotyczące kształtowania zasad rozliczeń i systemów płatności za użytkowanie mocy biernej między podmiotami przyłączonymi do sieci elektroenergetycznej i funkcjonującymi na rynku energii.

Problematyka kształtowania opłat związanych z zapotrzebowaniem na moc bierną przez podmioty przyłączone do sieci jest powiązana z szeregiem zagadnień, które można podzielić na te, które są związane z samym określeniem mocy biernej (kwestie fundamentalne) oraz te, które dotyczą problemów stricte technicznych (kwestie o charakterze wtórnym). Problemy fundamentalne związane są m.in. z następującymi faktami:

- moc bierna charakteryzuje się możliwym dualnym charakterem (pojemnościowym lub indukcyjnym);
- urządzenia i elementy infrastruktury sieciowej są poważnym uczestnikiem w zakresie wpływu na bilans mocy biernej w systemie (np. linie elektroenergetyczne i transformatory);
- poziom generacji lub odbioru energii o charakterze biernym poszczególnych elementów w SEE zależy od wielu parametrów, w tym od poziomu napięcia zasilającego;
- pewna część elementów użytkujących moc bierną w SEE to elementy o parametrach rozłożonych;
- zapotrzebowanie na moc bierną w SEE jest zmienne w czasie i ma charakter lokalny;
- przepływająca moc bierna ze źródeł jej wytwarzania do miejsc użytkowania powoduje dodatkowe straty energii czynnej oraz spadki napięć w liniach elektroenergetycznych;
- wytwarzanie energii biernej w jednostkach generacyjnych może być ograniczone przez dopuszczalny zakres generacji mocy czynnej;
- nie do końca rozwiązany został problem właściwego opisu, wyznaczania i pomiaru mocy biernej w obwodach z przebiegami odkształconymi (teoria i metateoria mocy).

Obecnie stosowane mechanizmy rozliczeń za moc bierną są uważane za działające wadliwie [1, 2]. Przede wszystkim nie opierają się na zasadach charakteryzujących rynek konkurencyjny. Brak jest wystarczających bodźców, skłaniających operatorów systemów elektroenergetycznych do efektywnego i racjonalnego wykorzystywania zasobów mocy biernej, dostępnych w systemie. Ogólnie planowany rozdział sterowania zasobami mocy biernej nie dostarcza potrzebnych wskaźników ekonomicznych, sprzyjających podnoszeniu efektywności wykorzystania zasobów w systemie elektroenergetycznym. Sposób płatności oparty na kwotach za zdolność generacji oraz rekompensujących przychody utracone z tytułu konieczności obciążenia mocą bierną odgrywa ważną rolę w utrzymaniu wystarczających zasobów tej mocy w systemie, aczkolwiek dopóki ceny za energię bierną nie będą odzwierciedlać faktycznych kosztów jej wytwarzania, dopóty sygnały cenowe oraz rynek pozostaną zniekształcone [1].

Koszty związane z użytkowaniem mocy biernej można traktować w dwóch kategoriach: jawnych i ukrytych [10, 1]. Koszty jawne można powiązać z koniecznością ponoszenia wydatków inwestycyjnych związanych z instalowaniem i eksploatacją urządzeń służących regulowaniu przepływów tej mocy (dławiki, kondensatory, elementy o zmiennej impedancji, np. FACTS – STATCOM, SVC). Koszty ukryte odnoszą się np. do sytuacji, w której wytwórca energii uwzględniając zdolności generacyjne własnej jednostki wytwórczej, zgodnie z wykresem obszarów dopuszczalnych generatora na płaszczyźnie P-Q (wykres kołowy generatora), jest zmuszony ograniczyć wielkość generowanej energii czynnej. W praktyce sprawia to, że generatory należą do kosztownych źródeł mocy biernej.

W artykule [3] zaprezentowano przegląd sformułowanych w literaturze naukowej propozycji metod i rozwiązań wyznaczania opłat za użytkowanie mocy biernej w aspekcie poszukiwania rozwiązań właściwych dla konkurencyjnego rynku energii. Rozważane koncepcje dotyczą zasad ustalania cen za moc lub energię bierną, koncepcji funkcjonowania rynku typu spot oraz rozliczania w ramach rynku usług systemowych.

Usługa systemowa regulacyjna „zmiana mocy biernej”

Przez usługę regulacyjną mocy biernej na rzecz systemu elektroenergetycznego rozumie się m.in. czynność wykonywaną na rzecz operatora sieci, polegającą na zmianie mocy biernej pobieranej lub oddawanej do sieci w stosunku do warunków określonych w umowach o przyłączeniu do sieci i świadczeniu usług dystrybucyjnych [7]. Zazwyczaj, w krajowych sieciach dystrybucyjnych żąda się od źródła w punkcie przyłączenia do sieci, utrzymywania stałego współczynnika mocy, zgodnie z wydanymi warunkami przyłączenia. Obecnie nie wykorzystuje się potencjału i możliwości generacji mocy biernej przez źródła generacji rozproszonej. Tymczasem w jednostkach generacji rozproszonej istnieje możliwość regulacji mocy biernej, zależnie od:

- wykresu kołowego generatora – jednostki z generatorem synchronicznym, np. kogeneracyjne (CHP, biogazowe); elektrownie wodne; elektrownie wiatrowe;
- obszaru dopuszczalnej pracy – generatory indukcyjne dwustronnie zasilane, np. w elektrowniach wodnych i wiatrowych;
- możliwości przekształtnika łączącego jednostkę z siecią – elektrowni wiatrowych i elektrowni słonecznych (PV).

Możliwości regulacyjnych mocy biernej nie posiadają jedynie jednostki z generatorami indukcyjnymi jednostronnie zasilanymi (wodne i wiatrowe), chyba że wyposażone są w sterowalne urządzenia do kompensacji (baterie kondensatorów i dławiki).

Usługa „zmiana mocy biernej na żądanie OSD”, z katalogu usług regulacyjnych, [7] może być wykorzystana do:

- bieżącej regulacji napięcia w punkcie przyłączenia – wytwarzanie mocy biernej pojemnościowej lub indukcyjnej o wartości, jaka wynika z zadanego poziomu napięcia;
- kompensacji mocy biernej – kompensowanie przepływów tej mocy w danym obszarze sieci dystrybucyjnej poprzez dostarczanie mocy biernej w punkcie przyłączenia.

Efektom realizacji takich usług dostarczanych przez źródła rozproszone mogą być z punktu widzenia OSD następujące korzyści:

- więcej narzędzi do regulacji napięcia w sieci,
- pozyskanie nowych zasobów regulacyjnych,
- możliwość ograniczenia liczby przełączeń zaczepek w transformatorach,
- redukcja strat przesyłu energii w sieci.

Wobec powyższego, alternatywnym podejściem do poprawy pracy sieci elektroenergetycznej, w stosunku do czynności modernizacyjnych elementów sieciowych, może być wykorzystanie technicznych możliwości źródeł rozproszonych przyłączonych do sieci w postaci usług regulacyjnych [8]. Usługi tego typu również mogłyby być świadczone przez samych odbiorców – prosumentów. Ten potencjał nie jest wykorzystywany w kraju systemowo, zmiana poziomu pobieranej mocy biernej przez większych odbiorców czasami odbywa się na życzenie OSD, lecz realizowane jest to na zasadzie koleżeńskiej uprzejmości [9].

Warto zatem stworzyć właściwy mechanizm rozliczeń za użytkowanie mocy biernej, biorąc pod uwagę kwestie techniczne (stabilność systemu, efektywność energetyczną) oraz ekonomiczne (reguły rynkowe w energetyce).

Sposoby rozliczeń za moc bierną – przykłady ze świata

Praktycznie w każdym kraju obecnie obowiązują zupełnie różne reguły wyznaczania opłat za użytkowanie mocy biernej. Generalnie można wyróżnić następujące sposoby formowania rozliczeń handlowych za dostarczanie mocy biernej [6]:

- pozbawione jakichkolwiek płatności,
- oparte na taryfach,
- w ramach indywidualnych kontraktów bilateralnych,
- na podstawie aukcji,
- na konkurencyjnym rynku energii.

W części krajów obowiązują systemy łączące niektóre z powyższych sposobów.

Za utrzymanie właściwych rezerw tej mocy w systemie elektroenergetycznym danego kraju odpowiedzialny jest zazwyczaj operator systemu przesyłowego. Duży wytwórca energii elektrycznej (np. o mocy zainstalowanej powyżej 10 MVA – w Finlandii lub zdolności wytwórczej co najmniej 50 MW – w Wielkiej Brytanii) są obowiązani do utrzymania określonych rezerw mocy biernej i jej dostarczania (usługa systemowa). Tacy wytwórcy mogą nie otrzymywać żadnych płatności za udostępnienie zasobów mocy biernej w przypadku, gdy ich jednostka pracuje

Zakresy przedziałów współczynnika mocy $\cos\varphi$, od których uzależniona jest wysokość opłaty w wybranych krajach europejskich

Kraj	Przedziały $\cos\varphi$			
Belgia	1 - 0,93	< 0,93	–	–
Bośnia-Hercegowina	1 - 0,95	< 0,95	–	–
Bułgaria	1 - 0,90	< 0,90	–	–
Chorwacja	1 - 0,95	< 0,95	–	–
Estonia	< 1	–	–	–
Francja	1 - 0,93	< 0,93	–	–
Hiszpania	1 - 0,96	0,95 - 0,80	< 0,8	–
Holandia	1 - 0,80	< 0,80	–	–
Islandia	1 - 0,90	< 0,90	–	–
Litwa	< 1	–	–	–
Luksemburg	1 - 0,90	< 0,90	–	–
Łotwa	1 - 0,93	< 0,93	–	–
Macedonia	1 - 0,95	< 0,95	–	–
Polska	1 - 0,93	< 0,93	–	–
Portugalia	1 - 0,97	0,96 - 0,93	0,92 - 0,89	< 0,89
Portugalia	1 - 0,96	< 0,96	–	–
Rumunia	1 - 0,93	0,92 - 0,62	< 0,62	–
Serbia	1 - 0,95	< 0,95	–	–
Słowenia	1 - 0,95	< 0,95	–	–
Włochy	1 - 0,90	0,89 - 0,80	< 0,80	–

w odgórnie zadanym zakresie współczynnika mocy (np. między: 0,92 ind. a 0,98 poj. w Norwegii; 0,9 ind. a 0,93 poj. w Australii; 0,9 ind. a 0,95 poj. w Kalifornii oraz w kanadyjskiej prowincji Ontario). Zgodnie z brytyjskim kodeksem sieci elektroenergetycznej, duży wytwórca powinien spełnić obowiązek minimalnej zdolności wykonania usługi, dotyczącej udostępnienia mocy biernej. W celu otrzymania płatności za usługę tego typu podmiot musi uczestniczyć w specjalnych mechanizmach płatności (domyślnym, obowiązkowym, dodatkowym).

Jednym z zadań stawianych operatorom systemów przesyłowych jest dopilnowanie, aby przepływy mocy biernej między poszczególnymi obszarami sieci były praktycznie zerowe i w związku z tym, np. w Szwecji nie przewidziano mechanizmów rozliczeń finansowych za usługi związane z bilansowaniem mocy biernej. Operator systemu w Finlandii dysponuje własnymi źródłami, lecz może korzystać z rezerw podmiotów niezależnych, co jest usługą obowiązkową. W niektórych krajach istnieją mechanizmy rozliczeń za dysponowanie zasobami mocy biernej przez wytwórców, które opierają się na kontraktach z operatorem systemu elektroenergetycznego.

W Australii, operator systemu NEMMCO zawiera kontrakty na dostawę mocy biernej. Wówczas zapłata dla wytwórcy składa się z opłaty za zdolność wytwórczą oraz kwoty wyrównawczej (zależnej od kosztu konieczności ograniczenia wytwarzania energii czynnej). W przypadku urządzeń kompensujących (np. kompensatory synchroniczne), zapłata składa się również z opłaty za zdolność wytwarzania oraz opłaty powiązanej z kosztem rozpoczęcia świadczenia takiej usługi. Podobne regulacje występują w Kalifornii i Ontario (Kanada).

W USA – w stanie Nowy Jork, za lokalną kontrolę poziomów mocy biernej odpowiadają właściciele sieci. Dostawca usługi związanej z dysponowaniem mocą bierną, jako usługi systemowej, otrzymuje za nią płatność w przypadku zakwalifikowania go przez niezależnego operatora systemu (NYISO). Dostawca musi spełnić wymagania NYISO co do procedur i standardów w zakresie zdolności wytwórczych mocy biernej i musi udostępnić swoje źródło w systemie automatycznej regulacji napięcia (*Automatic Voltage Regulator*).

W Wielkiej Brytanii wytwórca składa ofertę, uwzględniając ceny za udostępnienie jednostki zarówno mocy jak i energii biernej (MVAR i MVARh). Zakwalifikowany dostawca usługi otrzymuje płatność z obu tytułów na podstawie rocznego kontraktu z operatorem systemu. Koszty funkcjonowania kontraktów są pokrywane z systemu opłat w ramach tzw. mechanizmów bilansujących. Z kolei w Holandii, wytwórcy otrzymują płatności na podstawie kontraktów bilateralnych za zdolność produkcyjną mocy biernej, a nie za jej ilościowe dostarczenie.

W systemach elektroenergetycznych różnych państw UE [5] przyjęte są różne dopuszczalne współczynniki mocy ($\cos\varphi$ lub $\tan\varphi$), od przekroczenia których zależy wysokość opłaty za użytkowanie energii biernej. Z tym, że w jednych państwach nalicza się opłatę od całego poboru energii biernej w VARh (np. Estonia, Irlandia, Litwa), zaś w innych, tylko od części powyżej przekroczenia limitu określonego dopuszczalnym współczynnikiem mocy. Co więcej, w niektórych krajach przyjęto kilka progów (przedziałów wartości współczynnika mocy podczas poboru energii) z progresywnymi stawkami za energię bierną, tymczasem w Islandii opłata wzrasta liniowo wraz z pogarszaniem się współczynnika mocy (tab.1).

Różnice między krajami istnieją również, jeżeli chodzi o traktowanie odbiorców względem charakteru pobieranej mocy biernej. Dla przykładu, w Słowenii obowiązuje opłata tylko za moc bierną indukcyjną, natomiast w innych krajach zazwyczaj pobieranie mocy biernej pojemnościowej jest traktowane bardziej surowo, co może przejawiać się:

- wyższymi stawkami za energię pojemnościową niż indukcyjną (np. Bułgaria, Litwa, Łotwa);
- niższym limitem poboru mocy pojemnościowej niż indukcyjnej (np. Belgia, Finlandia);
- brakiem dopuszczalnego limitu dla mocy pojemnościowej, w przeciwieństwie do indukcyjnej (np. Polska, Portugalia, Rumunia).

W części krajów sposób określania stawek za użytkowanie mocy biernej jest identyczny dla wszystkich rozliczanych podmiotów, zaś w innych odbiorcy są różnie grupowani względem wielkości takich stawek, np.:

- zgodnie z poziomem napięcia zasilania: Francja (3 poziomy), Finlandia (zgodnie z grupą przyłączeniową), Hiszpania (napięcie powyżej 1 kV), Bośnia-Hercegowina (tylko podmioty przyłączone do sieci przesyłowej);
- zależnie od wielkości poboru mocy: Islandia, Włochy (moc zainstalowana powyżej 16,5 kW), Bułgaria (przepustowość przyłącza powyżej 100 kW).

Do innych aspektów różnicowania sposobów rozliczeń w różnych krajach można zaliczyć uzależnienie opłaty od:

- chwili poboru, np. we Francji opłaty są za okres zimowy w dni powszednie w godz. 6 -22,
- lokalizacji rozlicznego podmiotu, np. podział sieci krajowej na obszary (Norwegia, Rumunia).

Jak widać, praktycznie w każdym z krajów Europy, w których podmioty branży elektroenergetycznej są zrzeszone w organizacjach (jak ENTSO, UCTE, Eurelectric), których celem jest m.in. ujednoczenie reguł i standardów na potrzeby

wspólnego europejskiego rynku energii, obowiązują odmienne sposoby wyznaczania opłat za użytkowanie mocy biernej. Metody te mogą być skomplikowane (Belgia, Finlandia, Polska) lub proste i przejrzyste (np. w Estonii, gdzie obowiązują wszędzie taka sama stawka, niezależnie od charakteru mocy, poziomu napięcia i wielkości poboru). Szczegóły dotyczące różnych zasad rozliczeń za moc i energię bierną opisano również w pracy [4].

Podsumowanie

Moc bierna potrzebna do utrzymania stabilności systemu elektroenergetycznego i prawidłowego funkcjonowania licznych odbiorników energii elektrycznej powinna być rozliczana na podstawie przejrzystych kryteriów ekonomicznych. Przyjęty system opłat powinien wymuszać wzrost efektywności ekonomicznej tej usługi systemowej. Zgodnie z obecnym trendem rozwoju inteligentnych sieci energetycznych do bilansowania mocy biernej mogliby zostać wykorzystani odbiorcy rozproszeni. Odbiorca energii elektrycznej w inteligentnej sieci, stając się prosumentem, może uczestniczyć w procesie bilansowania mocy biernej, dokonując na bieżąco, na podstawie sygnałów cenowych, zmian w strukturze i zakresie użytkowanych urządzeń elektrycznych. Prosument taki mógłby przez to realizować usługi o charakterze systemowym na rzecz operatora sieci.

Środki pieniężne pozyskiwane przez operatorów sieci elektroenergetycznych z tytułu opłat za użytkowanie mocy (energii) biernej powinny pokryć koszty instalacji, utrzymania i zarządzania infrastrukturą systemową, związane z regulowaniem poziomów mocy biernej, ponadto zależeć od potencjalnego wpływu rozplywów mocy biernej na stany pracy sieci.

Obecnie w Polsce przychody operatorów z tytułu rozliczania ponadnormatywnego poboru mocy biernej nie są pochodną wspomnianych elementów, a rozliczenia między operatorami sieci dystrybucyjnych za przepływy mocy biernych między ich sieciami praktycznie nie są wykonywane.

Aktualnie stosowane reguły rozliczeń zazwyczaj wymuszają u części podmiotów utrzymanie współczynnika mocy na odgórnie narzuconym poziomie w miejscu zainstalowania licznika, bez względu na sensowność takiego działania w obliczu dynamicznej sytuacji, panującej w konkretnym obszarze sieci elektroenergetycznej.

Wobec powyższego, w kwestii użytkowania i prowadzenia rozliczeń za moc oraz energię bierną, uporządkowania ciągle wymagają następujące zagadnienia:

- właściwego opisu od strony teoretycznej i opracowania skutecznych metod pomiaru wielkości w powiązaniu z możliwościami inteligentnego sterowania odbiorami;
- wpływu na efektywność energetyczną w kontekście racjonalnego użytkowania energii, zróżnicowania odbiorów i źródeł energii elektrycznej;
- ustalenia reguł rozliczeń za użytkowanie odpowiednio wyznaczanej mocy biernej, w kontekście problematyki jakości zasilania oraz tendencji do ujednoczenia i upraszczania zasad funkcjonowania ponadkrajowego rynku energii.

W szczególności, wpływ na konieczność ujednoczenia zasad rozliczeń za użytkowanie mocy biernej będą mieć następujące czynniki [4]:

- prosumeryzm (coraz wyższa świadomość i aktywność indywidualnych odbiorców);
- swoboda gospodarcza (nisza dla podmiotów oferujących innowacyjne usługi pomocnicze i/lub pośredniczące w celu wykorzystania potencjału prosumentów w zakresie świadczenia usług systemowych – agregatorzy, ESCO itp.);
- nowe możliwości technologiczne, zwłaszcza teledystrybucyjna (smart metering, programy cenowe, reakcja strony popytowej DSM);
- wdrażanie konkurencyjnego rynku energii działającego na przejrzystych zasadach;
- konieczność racjonalizacji wykorzystania zasobów energetycznych, w tym infrastruktury energetycznej, poprawy efektywności energetycznej procesu użytkowania energii elektrycznej.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Banerjee K., Mitra P., Sarkar A., Liu Y., Chathadi S.: *Reactive Power Markets: a Possible Future?* IEEE North American Power Symposium (NAPS), 22-24 Sept. 2013.
- [2] Bielecki S.: *Opłaty za pobór mocy biernej – czy są słuszne?* „Elektro.Info” 2013, nr 12(120), s.23-25.
- [3] Bielecki S.: *Przegląd metod rozliczeń za moc bierną.* „Przegląd Elektrotechniczny” 2015, R. 91, nr 9, s. 61-64.
- [4] Bielecki S., Skoczkowski T.: *Potrzeba zmian rozliczeń za moc bierną.* „Rynek Energii” 2015, nr 4(119), s. 21-26.
- [5] ENTSO-E Overview of transmission tariffs in Europe: Synthesis 2014, June 2014.
- [6] Ippolito M.G., Massaro F., Pecoraro G, Riva Sanseverino E.: *Economical evaluations of reactive power supply as an ancillary service offered by Distributors.* IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2006.
- [7] Korpikiewicz J., Bronk L., Pakulski T.: *Capabilities Deliver Ancillary Services Provided by Decentralized Energy Generation.* „Acta Energetica” 2014, nr 2(19), s.70-74.
- [8] Korpikiewicz J., Bronk L., Pakulski T.: *Methodology of Using Ancillary Services Provided by Distributed Generation for Planning and Development of MV Network Processes.* „Acta Energetica” 2014, nr 2(19), s. 61-65.
- [9] Kowalak R., Małkowski R., Szczerba Z. (red.), Zajczyk R.: *Automatyka systemowa a bezpieczeństwo energetyczne kraju. Tom 3 – Węzły sieci przesyłowej i rozdzielczej.* Wydawnictwa Politechniki Gdańskiej, 2013.
- [10] Lamont J.W., Fu J.: *Cost Analysis of Reactive Power.* „IEEE Trans. on Power Systems” 1999, vol.14, no.3, s. 890-898.

