

## Efektywność kompensacji mocy biernej – studium przypadku

**Streszczenie.** W zmieniającej się sytuacji gospodarczej na świecie zagadnienia związane z poprawą efektywności energetycznej mają coraz większe znaczenie. W artykule przedstawiono wyniki analizy ponadumownego poboru energii biernej pojemnościowej w dwóch obiektach użyteczności publicznej. Przedstawiono analizę pod kątem wielkości jej poboru jak również kosztów ponoszonych opłat. W dalszej części przedstawiono statystyczną analizę zmienności poborów oraz zaprezentowano ocenę efektywności instalacji baterii kompensującej.

**Abstract.** In the changing economic situation in the world, issues related to the improvement of energy efficiency are becoming more and more important. The article presents the results of the analysis of capacitive reactive energy consumption for two public utility buildings. An analysis was presented in terms of the volume of its collection as well as the costs of fees. The next part presents a statistical analysis of the consumption variability and presents the assessment of the effectiveness of the compensating battery installation. *(The efficiency of reactive power compensation - a case study).*

**Słowa kluczowe:** energia bierna, kompensacja mocy biernej, koszty energii, efektywność energetyczna.

**Keywords:** reactive energy, reactive power compensation, energy costs, energy efficiency.

### Wstęp

W obliczu niepewnej sytuacji spowodowanej wojną na Ukrainie coraz częściej zastanawiamy się nad przyszłymi cenami energii elektrycznej jak również nad sposobami poprawy efektywności jej wykorzystania.

W okresie od 3.12.2019 r. do 28.05.2020 r. Najwyższa Izba Kontroli zbadała sposoby dokonywania zakupów energii przez jednostki sektora publicznego. W badanych 22 podmiotach, w wyniku kontroli ustalono, że szacowane oszczędności wynikające tylko z tytułu optymalizacji opłat w części dystrybucyjnej rachunku mogły wynieść 10,7 mln zł. Jedną z czterech kategorii badanych opłat były wydatki za koszty ponadumownego poboru energii biernej (kwota ta wyniosła 3,7 mln zł). Oszacowano, że potencjalne oszczędności jednostek sektora finansów publicznych w Polsce na fakturach za dystrybucję energii elektrycznej w 2019 r. mogłyby wynieść ponad 115 mln zł [1,2].

Nadmierna ilość energii biernej zmniejsza przepustowość sieci elektroenergetycznej, wywołując niepożądane zjawiska a w konsekwencji generuje dla Operatorów Systemów Dystrybucyjnych (OSD) dodatkowe koszty [3,4,5].

W większości krajów Europy moc i energia bierna rozliczana jest w oparciu o narzucone zasady, które nie koniecznie są skorelowane z wynikającego fizycznie zapotrzebowania na nią oraz faktycznego wpływu na pracę systemu elektroenergetycznego [6,7]. Obowiązujące zasady sposobów naliczenia opłat za użytkowanie mocą i pobieranie energii biernej przedstawiono w pracach [8,9].

Podstawowym aktem prawnym dotyczącym rozliczania moc biernej stanowi Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 6 marca 2019 r. w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną wraz z późniejszymi zmianami [10].

Na podstawie taryf zatwierdzanych przez Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki zgodnie z jej zapisami OSD naliczają dodatkowe opłaty za ponadumowny pobór energii biernej [11].

Przez ponadumowny pobór energii biernej przez odbiorcę rozumie się ilość energii elektrycznej biernej odpowiadającą:

- współczynnikowi mocy  $\text{tg } \varphi$  wyższemu od umownego współczynnika  $\text{tg } \varphi_0$  i stanowiącą nadwyżkę energii biernej indukcyjnej ponad ilość odpowiadającą wartości współczynnika  $\text{tg } \varphi_0$  lub

- indukcyjnemu współczynnikowi mocy przy braku poboru energii elektrycznej czynnej lub
- pojemnościowemu współczynnikowi mocy zarówno przy poborze energii elektrycznej czynnej, jak i przy braku takiego poboru [11].

Jeżeli wartość współczynnika  $\text{tg } \varphi$  nie została określona w warunkach przyłączenia lub w umowie, do rozliczeń przyjmuje się wartość  $\text{tg } \varphi_0 = 0,4$  [11].

Celowym jest więc bieżące sprawdzanie czy na fakturach za energię elektryczną nie pojawiają się opłaty za ponadumowny pobór energii biernej. Niestety nadal w części jednostek użyteczności publicznej występują nadmierne pobory energii biernej. Należy podkreślić, że za moc bierną pojemnościową opłata naliczana jest od każdej zarejestrowanej jej wielkości.

W przypadku stwierdzenia takiego faktu, wskazana jest rejestracja energii czynnej i biernej w punkcie poboru energii (PPE) odbiorcy np. za pomocą analizatorów jakości energii.

Jeżeli jest taka możliwość, można wykorzystać dane zarejestrowane przez rozliczeniowy licznik energii (smart meter) odbiorcy.

Celem analizy powyższych danych powinien być dobór optymalnej baterii kompensującej u odbiorcy.

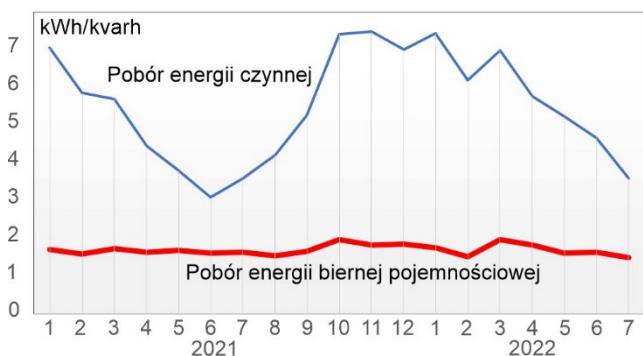
W artykule przedstawiono analizę zużycia energii czynnej i ponadumownego poboru energii biernej dla dwóch obiektów użyteczności publicznej. W dalszej części opisu oznaczono je jako: odbiorcę A oraz odbiorcę B. Moc umowna każdego z powyższych odbiorców wynosi 40 kW. Taryfa rozliczeniowa - C11.

Prezentowa analiza dotyczy dwóch zakresów danych odbiorców: rozliczeniowych - pochodzących z faktur z okresu 19 miesięcy oraz pomiarowych - przeprowadzonych na podstawie danych odczytanych z liczników rozliczeniowych jak również pochodzących z analizatora jakości energii PQ-Box 300.

### Analiza wpływ mocy biernej pojemnościowej na opłaty za energię elektryczną

Na podstawie informacji pochodzących z faktur odbiorców A i B dokonano analizy poboru energii czynnej oraz energii biernej za okres od stycznia 2021 do lipca 2022 (w obu powyższych przypadkach na fakturach wykazane były wyłącznie ponadumowne pobory energii biernej pojemnościowej).

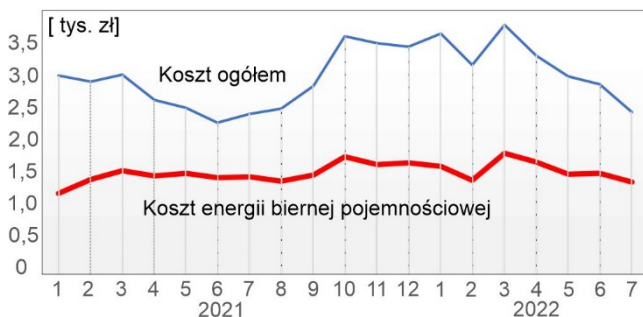
Na rysunku 1 przedstawiono odczytane z faktur miesięczne wartości za pobór energii czynnej oraz biernej pojemnościowej w analizowanym okresie przez odbiorcę A.



Rys.1. Pobory miesięczne energii czynnej i biernej pojemnościowej odbiorcy A w okresie od stycznia 2021 do lipca 2022

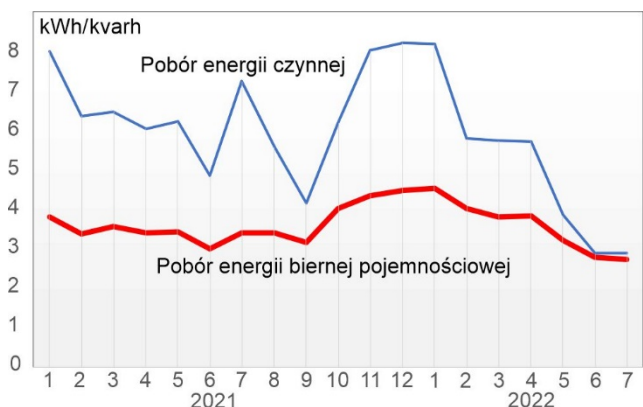
Na rys. 1 widoczna jest zmienność poboru energii czynnej wynikającej ze specyfikacji pracy obiektu przy niemal stałym poziomie energii biernej pojemnościowej.

Na rysunku 2 przedstawiono całkowite koszty poboru energii elektrycznej odbiorcy A oraz wynikające z niej opłaty za ponadumowny pobór energii biernej pojemnościowej.



Rys.2. Całkowite koszty poboru energii elektrycznej, w tym koszt za ponadumowny pobór energii biernej pojemnościowej odbiorcy A w poszczególnych miesiącach od stycznia 2021 do lipca 2022

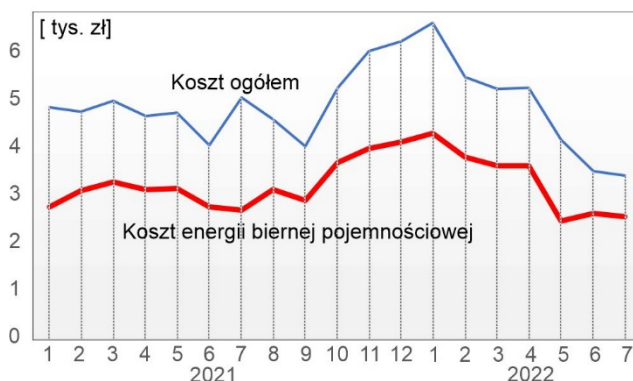
Na rysunku 3 przedstawiono odczytane z faktur miesięczne wartości pobranej energii czynnej oraz biernej pojemnościowej w analizowanym okresie dla odbiorcy B.



Rys.3. Pobory miesięczne energii czynnej i biernej pojemnościowej odbiorcy B w okresie od stycznia 2021 do lipca 2022

Na wykresie widoczne jest iż w czerwcu i lipcu 2022 roku odbiorca B miał porównywalne wartości poboru energii czynnej oraz energii biernej pojemnościowej.

Na rysunku 4 przedstawiono całkowite koszty poboru energii elektrycznej odbiorcy B oraz opłaty za ponadumowny pobór energii biernej pojemnościowej w poszczególnych miesiącach.



Rys.4. Całkowite koszty poboru energii elektrycznej, w tym koszt za ponadumowny pobór energii biernej pojemnościowej odbiorcy B w poszczególnych miesiącach od stycznia 2021 do lipca 2022

Uśredniając za okres 19 miesięcy, koszty związane z ponadumownym poborem energii biernej pojemnościowej średnio stanowiły odpowiednio dla odbiorcy A około 50%, natomiast dla B około 65 % wartości miesięcznej faktury za energię elektryczną.

Na wykresach 2 i 4 można zauważyć, że odbiorca A wykazuje stosunkowo niewielką miesięczną zmienność kosztów za energię bierną pojemnościową (średnio wynosiły 1570 zł) przy występującej zmienności całkowitych kosztów za energię elektryczną. Natomiast u odbiorcy B koszty związane z poborem energii biernej pojemnościowej były o wiele bardziej skorelowane z całkowitymi kosztami za energię elektryczną.

#### Analiza statystyczna zmienności poboru mocy czynnej i biernej badanych odbiorców

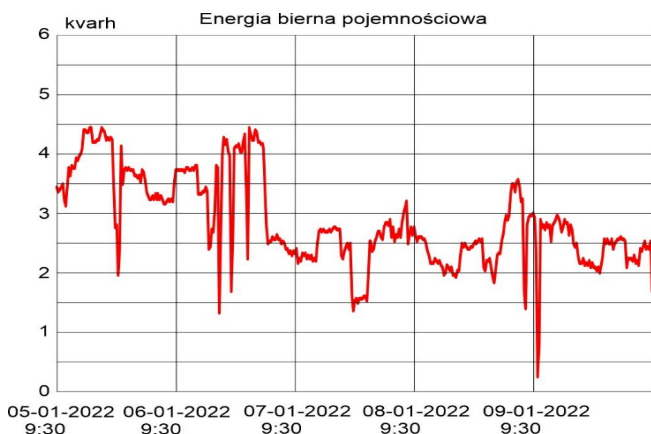
Aktualnie rozwojowym sposobem pozyskiwania danych pomiarowych poboru mocy czynnej i biernej u odbiorców jest zastosowanie nowoczesnego opomiarowania (AMI - Advanced Metering Infrastructure) pozwalającego m.in. na dwukierunkową komunikację z licznikami energii elektrycznej. AMI stanowi zbiór komponentów m.in.: modułów i systemów komunikacyjnych, liczników energii, rejestratorów i koncentratorów pozwalających na dwukierunkową komunikację pomiędzy centralnym systemem a licznikami przy użyciu różnego rodzaju technologii i mediów. AMI to również oprogramowanie biznesowe do zarządzania danymi pomiarowymi.

Zastosowanie AMI dostarcza cennej wiedzy o tym co dzieje się w opomiarowanym obiekcie, pozwalając na uzyskanie wymiernych korzyści ekonomicznych (bieżące pomiary zużycia energii). Dzięki analizie danych uzyskanej z liczników istnieje możliwość dobrania najkorzystniejszej taryfy dla danego odbiorcy/obektu. Mając wiedzę jakie odbiory znajdują się za konkretnym licznikiem istnieje możliwość ograniczenia zużycia energii poprzez wymianę sprzętu lub zmianę czasu ich działania np. na godziny nocne, gdy zgodnie z wybraną taryfą za energię można płać mniej. Wykrycie poborów i oddawania mocy biernej daje możliwość zastosowania rozwiązań (strażnik mocy), które również zmniejszą ponoszone koszty przez odbiorcę. Analiza odchyleń wybranych danych pozwala na zwrócenie szczególnej uwagi na dany moment w którym nastąpił szczytowy pobór mocy. Dzięki takiej wiedzy w miarę możliwości można odłożyć w czasie wykonanie pewnych

działań wymagających dużych poborów mocy i ograniczyć wartość faktury za energię elektryczną [12,13].

Analizie poddane zostały dane uzyskane z dwóch liczników rozliczeniowych energii elektrycznej zdalnego odczytu (AMI) zainstalowanych w obiektach użyteczności publicznej podmiotów A i B. W okresie od 20 grudnia 2021 roku od godz. 9.00 do 24 stycznia 2021 roku do godz. 8.45 każdy z liczników zanotował po 3360 rejestracji średnich 15-minutowych mocy czynnych i biernych.

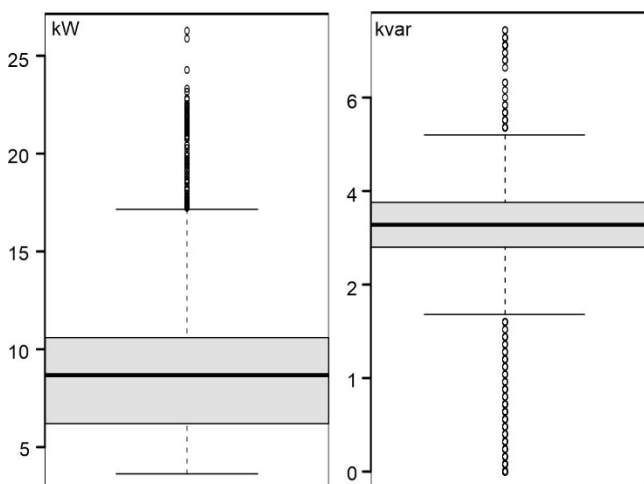
Otrzymane dane pomiarowe można analizować na różne sposoby. Klasycznie dane dotyczące poboru energii prezentowane są w postaci wykresów, które nie zawsze przekazują pełną informację o badanej populacji. Przykładowy wykres zmian wartości zarejestrowanej energii biernej pojemnościowej u odbiorcy B zaprezentowanego na rysunku 5.



Rys.5. Zmienność energii biernej pojemnościowej u odbiorcy B w okresie od 05-01-2022 godz. 9:30 do 10-01-2022 godz. 9:30

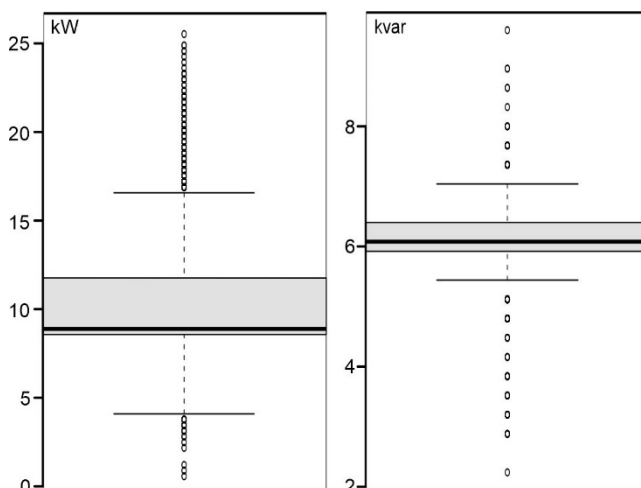
Zdaniem autora, w celu doboru baterii kompensującej bardziej celowa jest analiza statystyczna danych pomiarowych mocy czynnej i biernej za pomocą metod nieparametrycznych oraz prezentowanie ich np. na wykresach typu box-plot. Ten typ wykresów w sposób prosty i syntetyczny prezentuje pięć miar statystycznych z łatwością do ustalenia danymi odstającymi [14].

Dla obiektu A rozkład statystyczny średnich 15-minutowych mocy czynnej i biernej pojemnościowej zilustrowano na rysunku 6.



Rys.6. Rozkład średnich 15-minutowych mocy czynnej (lewa część) i biernej pojemnościowej (prawa część) dla obiektu A użyteczności publicznej (analiza przeprowadzona w środowisku R)

Dla obiektu B rozkład statystyczny średnich 15-minutowych mocy czynnej i biernej pojemnościowej zilustrowano na rysunku 7.



Rys.7. Rozkład średnich 15-minutowych mocy czynnej (lewa część) i biernej pojemnościowej (prawa część) dla obiektu B użyteczności publicznej (analiza przeprowadzona w środowisku R)

Z wykresów, które syntetycznie prezentują rozkłady badanych wartości wynika, że dla obiektu A większość uśrednionych 15 minutowych wyników dla mocy biernej pojemnościowej znajduje się w przedziale około 3 kvar (około 50% wszystkich odczytów). W analizowanym rozkładzie występuje dużo odczytów odstających - odczyty znajdujące się poza wąsami wykresu boxplot.

Dla odbiorcy B większość uśrednionych 15 minutowych wyników dla mocy biernej pojemnościowej znajduje się w przedziale około 6 kvar i charakteryzuje się niewielką liczbą pomiarów odstających.

#### Analiza efektywności instalacji baterii kompensujących dla odbiorców A i B

W rozumieniu Ustawy z dnia 20 maja 2016 r. - efektywność energetyczna to stosunek uzyskanej wielkości efektu użytkowego danego obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, w typowych warunkach ich użytkowania lub eksploatacji, do ilości zużycia energii przez ten obiekt, urządzenie techniczne lub instalację, albo w wyniku wykonanej usługi niezbędnej do uzyskania tego efektu [15].

Przekładając te zapisy na odbiorów A i B oraz biorąc pod uwagę poniesione przez nich koszty ponadumownego poboru energii pojemnościowej w okresie od stycznia 2021 do lipca 2022 możliwe jest oszacowanie wyników finansowych związanych z instalacją baterii kompensujących. Na podstawie wcześniejszych analiz profili obciążeń dobrano moce baterii dławików kompensujących. Ze względu na przewidywane nowe inwestycje u odbiorcy A zainstalowano baterie o mocy 10 kvar której koszt wyniósł 17 tys. zł. Analogicznie u odbiorcy B dobrano baterie o mocy 15 kvar której koszt wyniósł 22 tys. zł.

Do dalszych obliczeń przyjęto stałą roczną stopę inflacji  $r$  na poziomie 17 %. Koszt jednostkowej energii biernej pojemnościowej dla obu odbiorców, w całym rozpatrywanym okresie wyniósł 0,75807 zł/kvarh netto.

Biorąc pod uwagę miesięczne koszty energii pojemnościowej, które odbiorcy nie muszą ponosić oraz koszty inwestycji związane z instalacją baterii dławików wraz z układami regulacji poniesione na początku

pierwszego miesiąca, wartość bieżącą netto (*NPV* - Net Present Value) projektu można obliczyć jako [16]:

$$(1) \quad NPV = \sum_{t=1}^n R_t / (1 + r)^t$$

gdzie:  $R_t$  – koszty miesięczne za energię bierną pojemnościową przy założeniu poniesienia kosztów inwestycji w pierwszym miesiącu analizy,  $r$  - roczna stopa inflacji.

Ponadto można obliczyć wewnętrzną stopę zwrotu (*IRR* - Internal Rate of Return) wyznaczając wartość *NPV* projektu na zero i znajdując współczynniki *IRR*, które przedstawia równanie:

$$(2) \quad NPV = \sum_{t=1}^n R_t / (1 + IRR)^t - R_0 = 0$$

gdzie:  $R_0$  – całkowity koszt instalacji baterii do kompensacji mocy biernej, *IRR* – wewnętrzna stopa zwrotu,  $t$  – kolejny miesiąc.

Te dwa wskaźniki, *NPV* i *IRR* pomagają ocenić ekonomiczną wykonalność jak również efektywność projektu. Obliczono również okres zwrotu z inwestycji, który określa okres, jaki jest konieczny, aby nakłady poniesione na realizację określonego przedsięwzięcia inwestycyjnego zostały w pełni pokryte korzyściami netto wygenerowanymi przez tą inwestycję [16].

W tabeli 1 zestawiono wyniki analizy finansowej inwestycji instalacji kompensacji mocy biernej dla obu odbiorców.

Tabela 1. Finansowana analiza zainstalowania kompensacji baterii mocy biernej dla odbiorców A i B

Rodzaj	Odbiorca A	Odbiorca B
Liczba analizowanych okresów rozliczeniowych [miesiące]	19	19
Moc zainstalowanej baterii kompensującej [kvar]	10	15
$R_0$ - całkowity koszt instalacji kompensacji mocy biernej [tys. zł]	17	22
<i>NPV</i> [tys. zł]	8,4	30,8
<i>IRR</i> [%]	6,0	12,7
Czas zwrotu z inwestycji [miesiące]	~12	~8

Na podstawie powyższej analizy można stwierdzić, że instalacja baterii dławików w rozważanym studium przypadku jest inwestycją korzystną pod względem technicznym i ekonomicznym. Biorąc pod uwagę rosnące ceny energii elektrycznej oraz czas zwrotu z inwestycji wynoszący mniej niż 12 miesięcy można uznać przedstawione przedsięwzięcie za rozwiązanie efektywne.

### Podsumowanie

Przedstawiona w artykule analiza ekonomiczna i statystyczna dla dwóch układów jednostek sektora publicznego uzasadnia konieczność inwestycji w instalacje kompensacji mocy biernej. Czas zwrotu z poniesionych nakładów jest tym krótszy im większe są płacone kary za ponadnormatywny pobór energii biernej.

Zagadnienie opłaty za ponadumowny pobór energii biernej będzie narastało, gdyż dla wielu firm posiadających biurowce czy obiekty przemysłowe koszty te mogą się

pojawić po zastosowaniu oświetlenia typu LED czy zwiększeniu liczby użytkowanych serwerów, laptopów, wind, klimatyzacji itd.

Nie ma potrzeby ponoszenia przez odbiorców kar za energię bierną ponieważ rozwiązaniem są proste, tradycyjne układy kompensacji.

*Projekt finansowany w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2023 nr projektu 020/RID/2018/19 kwota finansowania 12 000 000 PLN*

**Autor:** dr hab. inż. Mirosław Kornatka, Politechnika Częstochowska, Katedra Elektroenergetyki, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: miroslaw.kornatka@pcz.pl.

### LITERATURA

- [1] Najwyższa Izba Kontroli, Optymalizacja kosztów energii elektrycznej w jednostkach sektora finansów publicznych, LLU.430.003.2020, nr ewid. 182/2020/P/19/083/LLU, (2020)
- [2] Urząd Regulacji Energetyki, Jak optymalizować koszty energii elektrycznej w sektorze publicznym?, www.gov.pl (dostęp 30.09.2022)
- [3] Kornatka M., Gawlak A., An Analysis of the Operation of Distribution Networks Using Kernel Density Estimators, *Energies*, 14(21), (2021), <https://doi.org/10.3390/en14216984>
- [4] Kulczycki J., Straty energii elektrycznej w sieciach dystrybucyjnych, PTPiREE, Poznań, (2009)
- [5] Szpyra W., Wpływ mocy biernej na straty w sieci. Energetyczny równoważnik mocy biernej, IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Straty Energii Elektrycznej w sieciach elektroenergetycznych”, Wisła, (2008), 59–69
- [6] Bielecki S., Aspekty użytkowania i zarządzania mocą bierną w energetyce, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, (2019)
- [7] Bielecki S., Skoczowski T., Potrzeba zmian rozliczeń za moc bierną, *Rynek Energii*, 4 (2015), nr 119, 21-26
- [8] ENTSO-E Overview of Transmission Tariffs in Europe: Synthesis 2019, (2020)
- [9] Kurkowski M., Popławski T., Mirowski J., Energia bierna a przepisy Unii Europejskiej, *Rynek Energii*, 111, (2014), nr 2, 18-23
- [10] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 6 marca 2019r. w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną oraz zmieniające je Rozporządzenie z dnia 13 listopada 2020 r.
- [11] Taryfa dla energii elektrycznej w zakresie dystrybucji energii elektrycznej TAURON Dystrybucja S.A. na rok 2022, TAURON Dystrybucja S.A., Kraków, 2022
- [12] Kornatka M., Popławski T., Advanced Metering Infrastructure - Towards a Reliable Network, *Energies*, 14(18), (2021), <https://doi.org/10.3390/en14185986>
- [13] Bartczak K., Analiza korzyści i zagrożeń związanych ze stosowaniem w Polsce inteligentnych liczników energii elektrycznej, *Przegląd Elektrotechniczny*, 92 (2016) nr 1, 170-176
- [14] R development Core Team ©, R: A language and environment for statistical computing, <https://cran.r-project.org/>
- [15] Ustawy z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej, Dz. U. 2016 poz. 831, (2016)
- [16] Małecki P., Rosiek K., Żaba-Nieroda R., Metody oceny projektów gospodarczych, *Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie*, Kraków, (2019)