

Prognozowanie zużycie energii elektrycznej w gospodarstwach domowych

Streszczenie. Rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną w całej gospodarce światowej jest efektem rozwoju społeczno-gospodarczy oraz postępu technicznego. W Polsce sektorem gospodarki, który w ostatnim dziesięcioleciu odnotował znaczny wzrost zużycia energii elektrycznej jest sektor gospodarstw domowych. Określenie głównych czynników wpływających na zużycie energii elektrycznej przez gospodarstwa domowe jest niezbędne dla poprawy efektywności energetycznej w tym obszarze. W referacie zaprezentowano sposób prognozowania średnioterminowego zużycia energii elektrycznej w gospodarstwach domowych z użyciem modelu ekonometrycznego.

Abstract. Socio-economic development and technological progress are the cause of the ever-growing demand for electricity in the whole world economy. In Poland, in the last decade, the household sector recorded a significant increase in electricity consumption. Understanding the factors influencing the electricity consumption of households is necessary to improve energy efficiency. The paper shows how a medium-term forecast of electricity consumption in households using an econometric model. (*The forecasting electricity consumption in households*).

Słowa kluczowe: analiza, prognozowanie, zużycie energii elektrycznej, gospodarstwa domowe

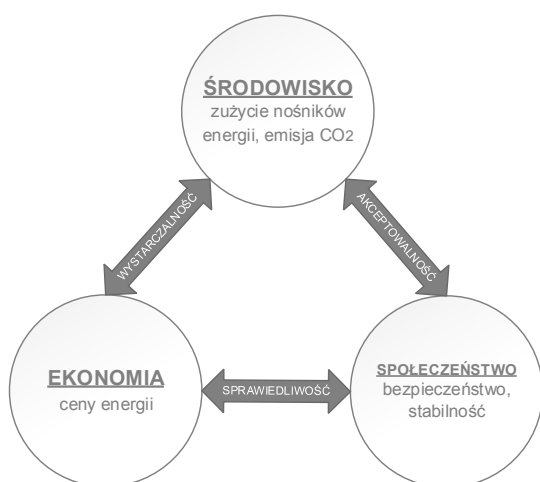
Keywords: analysis, forecasting, electricity consumption, households.

Wstęp

W ostatnich latach często używanym pojęciem w kontekście elektroenergetyki jest *rozwój zrównoważony*, który można określić jako proces mający na celu zaspokojenie potrzeb obecnego pokolenia w sposób umożliwiający realizację tych samych dążeń następnym pokoleniom. Ogólne zasady zrównoważonego rozwoju, które sformułował Hermanem Daly, są następujące:

- tempo zużycia zasobów odnawialnych nie może przekraczać tempa ich odtwarzania;
- tempo zużycia zasobów nieodnawialnych nie może przekraczać tempa, w jakim pojawiają się ich odnawialne substytuty;
- tempo emisji zanieczyszczeń nie może przekraczać zdolności asymilacyjnej środowiska.

Główne elementy zrównoważonego rozwoju z punktu widzenia elektroenergetyki zostały przedstawione na rys. 1.

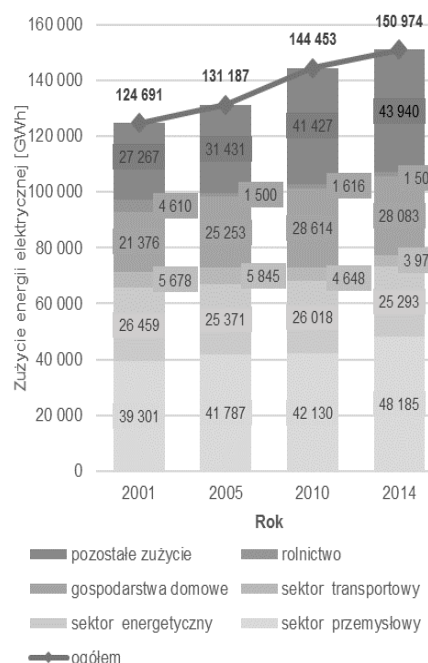


Rys.1. Kluczowe elementy rozwoju zrównoważonego elektroenergetyki

Ideę zrównoważonego rozwoju w zakresie elektroenergetyki Unia Europejska realizuje m. in. poprzez pakiet klimatyczno-energetyczny, zwany w skrócie 3x20 do 2020 roku oraz czynny udział w ustaleniu międzynarodowego porozumienia jakie zapadło na 21.

sesja oenztowskiej Konferencji Stron (COP 21) w sprawie zmian klimatu.

Istotne jest więc monitorowanie oraz prognozowanie wskaźników zużycia energii w poszczególnych krajach UE oraz określenie czynników wpływających na ich zmianę. Wskaźnik zużycie energii elektrycznej często jest podawany dla poszczególnych sektorów gospodarczych. Gospodarkę narodową każdego państwa można podzielić na szereg działów tj.: przemysłowy, energetyczny, transportowy, gospodarstwa domowe i rolnictwo. W każdym sektorze na zużycie energii elektrycznej ma wpływ szereg, często różnych czynników. Na rys. 2 przedstawiono zużycie energii elektrycznej w Polsce od początku XXI wieku.



Rys.2. Zużycie energii elektrycznej w gospodarce polskiej [1,2,3]

Zużycie energii elektrycznej w tym okresie czasu zwiększyło się o 17%, natomiast działem gospodarki w którym odnotowano znaczny wzrost (o 24%) jest sektor gospodarstw domowych.

Charakterystyka gospodarstw domowych

W Polsce jest ponad 14 mln gospodarstw domowych, 50% z nich charakteryzuje się kubaturą do 200 m³ i powierzchnią nie przekraczającą 60 m², w którą zamieszkuje najczęściej 2-3 osoby (średnia 2,8 osoby). W ciągu ostatniego dziesięciolecia można zauważyć systematyczny zwiększanie się powierzchni i kubatury mieszkań oraz spadek średniej ilości osób w gospodarstwie domowym. Statystyczne gospodarstwo domowe w Polsce w ciągu roku zużywa ok. 2000 kWh energii elektrycznej i jest to wartość dwa razy mniejsza od średniej krajów UE [2].

Charakterystyka gospodarstw domowych, z punktu widzenia zużycia energii elektrycznej, została przygotowana w oparciu o wytyczne opisane w dokumencie opublikowanym przez Eurostat - *Manual for statistics on energy consumption in households (MESH)* oraz o dane Głównego Urzędu Statystycznego. Odbiorniki energii elektrycznej zostały podzielone na 6 grup:

- urządzenia do ogrzewania pomieszczeń,
- urządzenia do podgrzewania wody,
- urządzenia do gotowania posiłków,
- urządzenia do chłodzenia pomieszczeń,
- oświetlenie, sprzęt AGD i RTV
- pozostałe, nie wymienione w innych grupach.

W pierwszą grupę urządzeń jest wyposażone jedynie 5,3% mieszkań. Ze względu na znaczne koszty oraz dużą dostępność innych, tańszych nośników energii (w szczególności węgla) ogrzewanie urządzeniami elektrycznymi nie jest stosowane na szeroką skalę. Elektryczne urządzenia grzewcze służą głównie jako uzupełniające źródła ciepła lub znajdują zastosowanie w miejscach, gdzie nie można użyć innego rodzaju ogrzewania [1,4].

W 23,5% gospodarstw domowych zainstalowane są elektryczne urządzenia do podgrzewania wody (termy, bojler). Liczba tych urządzeń utrzymuje się na stałym poziomie w ostatnich latach. Średni wiek tych urządzeń to 9 lat, co świadczy, że te urządzenia nie są technicznie przestarzałe [1,4].

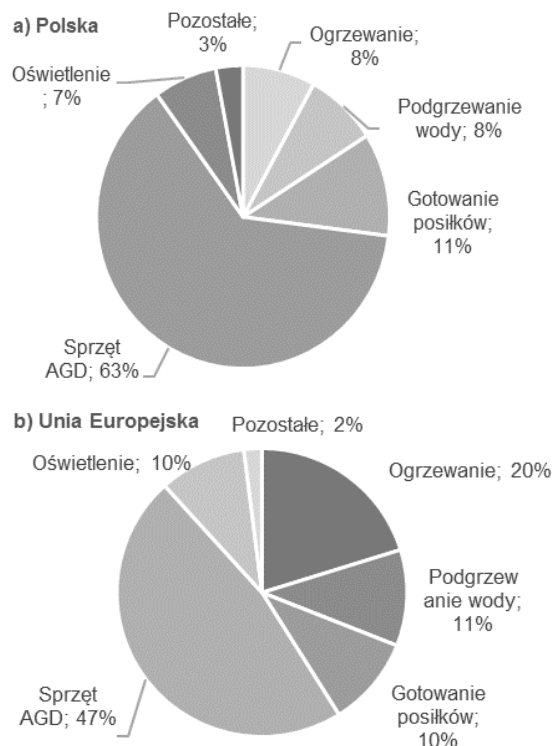
Kuchenki gazowe z elektrycznym piekarnikiem można znaleźć w co drugim gospodarstwie domowym, natomiast kuchenki w pełni elektryczne (płyta grzewcza z piekarnikiem) w co dziesiątym. Należy wspomnieć też, że ponad 50% gospodarstw domowych jest wyposażona kuchenkę mikrofalową [1,4].

W klimatyzatory znajdują się na wyposażeniu niespełna 0,5% domostw, lecz ich liczba w ostatnich latach znacząco wzrasta głównie za sprawą nowobudowanych mieszkań o podwyższonym standardzie. W większości są to urządzenia przeznaczone do chłodzenia pojedynczych pomieszczeń. Zaledwie 0,04% mieszkań posiada centralną klimatyzację [1,2,4].

Najliczniejszą grupę odbiorników energii elektrycznej stanowią urządzenia AGD, RTV oraz oświetlenie. Niemal każde gospodarstwo domowe na wyposażeniu posiada lodówkę, pralkę oraz telewizor. Natomiast średnia moc zainstalowanych żarówek (w tym też energooszczędnych świetlówek oraz źródeł LED) w gospodarstwie domowym jest szacowana na poziomie 550W, natomiast moc zainstalowanych żarówek na jednostkę powierzchni wynosi 7,21 W/m² [1,2,3,4].

Na rys 3. zestawiono zużycie energii elektrycznej według wcześniej omawianych grup urządzeń dla Polski oraz dla średniej 27 państw UE. Największe różnice można zauważyć w udziale procentowym w zużyciu energii elektrycznej dla grupy urządzeń do ogrzewania pomieszczeń oraz dla sprzętu AGD. W przypadku pierwszej grupy urządzeń można zinterpretować ten fakt jako brak opłacalności inwestycji w ogrzewanie elektryczne

pomieszczeń w Polsce. Nadmierne zużycie energii elektrycznej przez urządzenia AGD w kraju jest spowodowany między innymi przez zaawansowany wiek tych urządzeń, a co z tym się wiąże sprzęt AGD w Polsce charakteryzuje się niższymi klasami energetycznymi niż analogiczne urządzenia gospodarstwa domowego w wysokorozwiniętych krajach UE.



Rys.3. Zużycie energii e zużycie energii elektrycznej grup urządzeń dla a).Polski, b) Unii Europejskiej [1,3]

Jednym z głównych, realizowanych długofalowo celów Komisji Europejskiej w zakresie ograniczenia zużycia energii elektrycznej w gospodarstwach domowych jest upowszechnianie certyfikatów i etykiet energetycznych zarówno dotyczących sprzętu AGD, oświetlenia jak i budynków oraz pojazdów osobowych. Unijne etykiety energetyczne mają na celu udostępnianie konsumentom czytelnych informacji o nabywanych przez nich produktach AGD dotyczących zużycia energii, wody, czy innych parametrów wydajności. Na ich podstawie konsument jest w stanie zidentyfikować rzeczywistą efektywność energetyczną urządzenia oraz ocenić jego potencjał oszczędności w rachunkach za energię elektryczną. Z przytoczonych wcześniej danych w Polsce istnieje jednak nadal potrzeba rozpowszechniania widoczności dotyczących certyfikowania i etykietowania energetycznego sprzętu AGD u konsumentów.

Modelowanie i prognozowanie ekonometryczne

Modelowanie oraz prognozowanie zużycia energii elektrycznej w sektorze gospodarstw są procesami wielopłaszczyznowymi i złożonymi. Jednym ze sposobów na określenie głównych czynników wpływających na zużycie energii w sektorze gospodarstw domowych jest zastosowanie modelowania ekonometrycznego. Zmienną objaśnianą w takim modelu jest wskaźnik zużycia energii elektrycznej. Natomiast czynniki wpływające na ten wskaźnik można podzielić zgodnie z założeniami zrównoważonego rozwoju na trzy grupy: czynniki

energetyczno-techniczne, czynniki finansowo-ekonomiczne oraz czynniki społeczne.

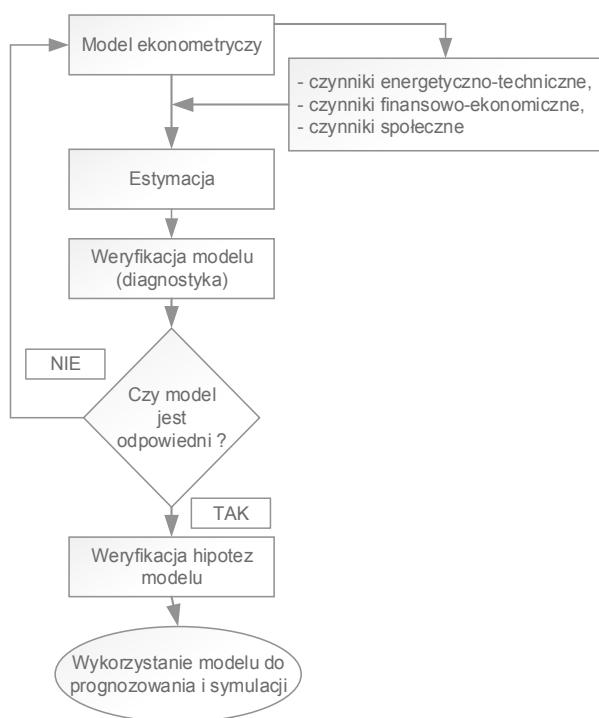
Liniowy model ekonometryczny z wieloma zmiennymi objaśniającymi ma wtedy postać:

$$(1) \quad Y = a_0 + \sum_{k=1}^K (a_k X_k) + \varepsilon$$

gdzie: Y – zmienna objaśniana, X_k – k -ta zmienna objaśniająca dla $k = 1, 2 \dots K$, a_0, a_k – parametry strukturalne modelu dla $k = 1, 2 \dots K$, ε – składnik losowy.

W modelowaniu ekonometrycznym czynniki powinny spełniać kryteria merytoryczne: ujmować najistotniejsze własności analizowanych zjawisk, być precyzyjnie zdefiniowane, umożliwiać wzajemną kontrolę poprzez znajomość związków statystycznych i merytorycznych występujących między nimi oraz charakteryzować się zgodnością proporcji między liczbą zmiennych reprezentujących dany aspekt zjawiska a ich znaczeniem merytorycznym. Czynniki spełniające wyżej wymienione kryteria mogą pełnić rolę zmiennych objaśniających w modelu ekonometrycznym.

Do wyznaczenia poszczególnych parametrów modelu ekonometrycznego posłużono klasyczną metodą najmniejszych kwadratów. Kolejne kroki w analizie ekonometrycznej zostały przedstawione na rys. 4.



Rys. 4. Schemat analizy ekonometrycznej

Do weryfikacji modelu ekonometrycznego wykorzystano szereg testów statystycznych, które umożliwiają oprogramowanie *GRET*. Diagnostyka polegała na: ocenie współczynnika zmienności, ocenie istotności parametrów strukturalnych (test t-Studenta, test F-Snedecora), ocenie stopnia dopasowania modelu (czynnik determinujący R^2), ocenie normalności rozkładu (test Jarque'a-Bery), ocenie liniowości postaci analitycznej modelu (test White) oraz ocenie współliniowości zmiennych objaśnianych [5].

Parametry strukturalne skonstruowanego modelu ekonometrycznego zostały zaprezentowane w tab. 1. Grupą

czynników mających największy wpływ na wskaźnik zużycia energii elektrycznej są czynniki finansowo-ekonomiczne (parametry modelu od a_1 do a_4). Model uzupełnia zmienna objaśniająca o charakterze energetyczno-technicznym (parametr a_5) jaką jest procentowy wskaźnik wyposażenia gospodarstw w zmywarki do naczyń. Dla analizowanego okresu czasowego (lata 2001-2014) zmienne o charakterze społecznym nie miały istotnego wpływu na zmienną objaśnianą.

Tabela 1. Parametry strukturalne modelu zużycia energii elektrycznej w sektorze gospodarstw domowych

Parametr	Wartość	Opis	Jednostka
a_0	44683,8	Stała	-
a_1	209,3	Przeciętne miesięczne wydatki na 1 osobę na nośniki energii	zł
a_2	-173,6	Przeciętne miesięczne wydatki na 1 osobę na wyposażenie gosp. domowego	zł
a_3	-1523,5	Udział wydatków na użytkowanie mieszkania i nośniki energii w wydatkach ogółem	%
a_4	-27381,6	Cena energia elektryczna dla gosp. domowych (taryfa G-11)	zł/kWh
a_5	-173,9	Wyposażenie gospodarstw domowych w zmywarki do naczyń	% ogółu gosp. dom

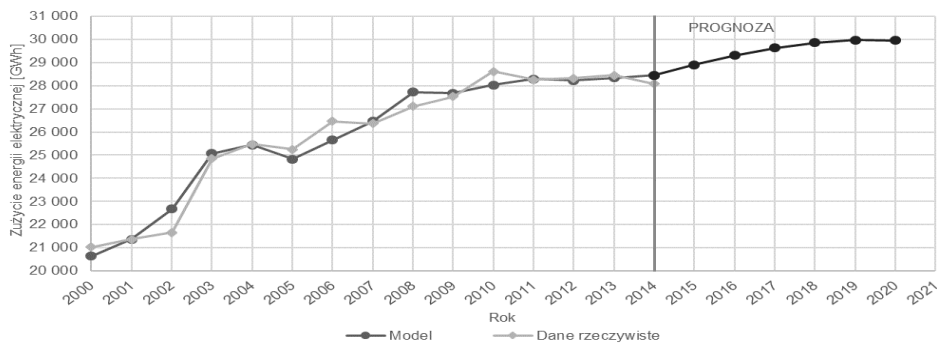
Należy zwrócić uwagę, iż co najmniej trzy parametry modelu ekonometrycznego można powiązać ze sprzętem AGD. Do grupy tych czynników można zaliczyć:

- parametr a_5 – jako zmienną odwołującą się bezpośrednio do ilości urządzeń AGD w gospodarstwie domowym,
- parametr a_2 – jako czynnik mogący wpłynąć na zwiększenie w gospodarstwie domowym ilości urządzeń AGD w tym też o wyższych klasach energetycznych,
- parametr a_3 – który może mieć istotny wpływ na chęć wymiany nieekonomicznego sprzętu AGD na nowy efektywniejszy energetycznie.

Kolejnym etapem analizy było skonstruowanie prognozy średnioterminowej zużycia energii elektrycznej w badanym sektorze uwzględniającej parametry strukturalne badanego modelu ekonometrycznego. Prognozę oparto o założenia rozwoju zrównoważonego oraz wyznaczone trendy dla czynników wpływających na zużycie energii elektrycznej w sektorze gospodarstw domowych: Założono:

- wzrost miesięcznych wydatków na 1 osobna nośniki na poziomie 3% w skali roku,
- wzrost miesięcznych wydatków na 1 osobę na wyposażenie gospodarstw domowych o 2,5% w skali roku,
- zmniejszenie udziału wydatków na mieszkania i nośniki energii w wydatkach ogółem na poziomie 1% rocznie,
- wzrost ceny za energię elektryczna o 1% w skali roku,
- zwiększenie udziału gospodarstw domowych w zmywarki do naczyń z poziomu 24% w 2014 roku do poziomu 29,5% w 2020 roku.

Na rys. 5 zestawiono dane statystyczne zużycia energii elektrycznej przez gospodarstwa domowe [1] oraz wyniki uzyskane za pomocą modelu ekonometrycznego. Współczynnik determinacji R^2 dla prezentowanego modelu wyniósł 0,95. Analizując uzyskane wyniki można zauważyć, że zapotrzebowanie na energię elektryczna dla sektora gospodarstw domowych do 2020 roku zwiększy się o ok



Rys. 5. Zużycie energii elektrycznej w sektorze gospodarstw domowych

3,5% i wyniesie niespełna 30 000 GWh. Oznacza to zużycie energii przez statystyczne domostwo w Polsce na poziomie 2150 kWh w skali roku. Jest to wartość znacznie niższa od krajów sąsiadujących z Polską. Dla porównania zużycie energii elektrycznej przez gospodarstwo domowe w krajach o podobnej historii przemian ustrojowo-politycznych, takich jak Słowacja i Czechy, wynosi odpowiednio 2600 i 3100 kWh/rok. Natomiast w wysokorozwiniętym kraju jakim są Niemcy wartość tego wskaźnika wynosi 3400 kWh rocznie.

. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza wykazała, że zużycie energii elektrycznej w sektorze gospodarstw domowych ma istotny wpływ na całą gospodarkę narodową. Natomiast struktura wyposażenia odbiorników energii elektrycznej w domostwach wykazała, iż największy wpływ na zużycie energii mają urządzenia AGD.

Na podstawie opracowanego modelu ekonometrycznego można natomiast wywnioskować, iż na zużycie energii elektrycznej przez sektor gospodarstw domowych w Polsce mają wpływ głównie czynniki o charakterze finansowo-ekonomicznym. Ten fakt odzwierciedlają również dane podawane przez Urząd Regulacji Energetyki mówiące o stałym wzroście odbiorców korzystających z zasady TPA m.in. w celu obniżenia kosztów za rachunki za energię elektryczną. Obecnie ilość odbiorców, którzy skorzystali ze zmiany sprzedawcy energii w grupie taryfowej G wynosi 385 tys. [6]. Wzrost ten może świadczyć o stale zwiększającej się świadomości i wiedzy na temat ograniczania kosztów związanych ze zużyciem energii elektrycznej przez odbiorców indywidualnych.

W najbliższych latach w krajowych gospodarstwach domowych należy spodziewać się dalszego wzrostu liczby urządzeń elektrycznych. Aby wraz ze wzrostem liczby, głównie małych urządzeń elektrycznych, nie wzrastało znacząco zużycie energii w sektorze gospodarstw domowych należy zastosować szereg narzędzi wpływających na poprawę efektywności energetycznej w tym dziale gospodarki tj [7].:

- powszechny i szeroki dostęp do informacji o etykietach energetycznych sprzętu oświetleniowego, AGD i RTV, realizowany m.in. za pomocą medialnych kampanii informacyjnych oraz serwisów internetowych,

- wdrożenie systemu powszechnej edukacji składającej się z szkoleń wpływających na wzrost świadomości społecznej związanej z racjonalnym użytkowaniem energii w sektorze gospodarstw domowych,
- wprowadzenie systemu szkoleń zawodowych (dla instalatorów i sprzedawców) podnoszących kwalifikacje i umiejętności w doradzaniu, doborze i wykorzystaniu energooszczędnych technologii przeznaczonych dla odbiorców indywidualnych,
- wprowadzenie szeregu uregulowań prawnych ukierunkowanych na promocję efektywnego wykorzystania energii przez użytkowników końcowym ze szczególnym uwzględnieniem odbiorców indywidualnych,
- stworzenie kompleksowego systemu dofinansowania środkami publicznymi przedsięwzięć dotyczących potencjału efektywnego wykorzystania energii i zastosowania odnawialnych źródeł energii w budynkach wielu i jednorodzinnych. Realne umożliwienie gospodarstwom domowym stanie się *prosumentem* na rynku energii elektrycznej.

Autor: dr inż. Marek Kott, Politechnika Wroclawska, Wydział Elektryczny, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: marek.kott@pwr.edu.pl

LITERATURA

- [1] Bank Danych Lokalnych, <https://bdl.stat.gov.pl/BDL/start> (4.05.2016)
- [2] Baza Danych: Date base Odyssee-Mure, <http://www.indicators.odyssee-mure.eu/energy-efficiency-database.html> (2.03.2016)
- [3] Eurostat, Baza danych (nrg10_a), <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/database> (4.05.2016)
- [4] Główny Urząd Statystyczny, Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2012 roku, GUS, Warszawa 2014.
- [5] Kufel T.; Ekonometria. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem programu GRETL. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- [6] Urząd Regulacji Energetyki, Sprawozdanie z działalności Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki w 2015 r. Warszawa 2015.
- [7] Popczyk J., Prosumenctwo – innowacja przełomowa, *Energetyka ciepła i zawodowa* 2014, nr 2.