

# Ekonometryczny model popytu gospodarstwa domowego na energię elektryczną

Jerzy Witold Wiśniewski<sup>a</sup>

**Streszczenie.** Energia elektryczna jest obecnie fundamentem funkcjonowania każdego gospodarstwa domowego. Wykorzystywanie do ogrzewania domu zarówno gazu, oleju opałowego, jak też paliw stałych wymaga również zasilania energią elektryczną (na przykład jest ona niezbędna do funkcjonowania sterowników czy pomp obiegowych). Współcześnie energia elektryczna jest najbardziej sprzyjającym środowisku naturalnemu źródłem energetycznym. Doświadczenie pokazało, że zastąpienie olejowego systemu ogrzewania przez pompę ciepła przyniosło znaczące oszczędności finansowe w gospodarstwie domowym.

Celem niniejszej pracy jest konstrukcja wielorównaniowego modelu ekonometrycznego, opisującego mechanizmy zużycia energii elektrycznej w konkretnym gospodarstwie domowym. Hipoteza modelowa wskazuje, że model winien mieć charakter układu równań współzależnych. Opisane zostaną: miesięczna wielkość zużycia energii elektrycznej (USAGE), kwota płatności za tę energię w PLN (VALUE) oraz cena jednej MWh w danym miesiącu (PRICE). Wykorzystane zostały miesięczne szeregi czasowe od września 2015 roku do czerwca 2023 roku. Powstały tym samym szeregi czasowe o liczebności 94 obserwacji statystycznych.

Zaprezentowany w niniejszej pracy ekonometryczny model zużycia energii elektrycznej w gospodarstwie domowym nie potwierdza hipotezy o sprzężeniu zwrotnym pomiędzy zmiennymi USAGE oraz PRICE. Stanowi to rezultat interwencjonizmu państwowego na rynku źródeł energii w Polsce. Natomiast pojawiła się rekurencyjność wpływu wielkości zużycia energii elektrycznej na jej wartość w jednostkach pieniężnych. Poza walorami poznawczymi uzyskanych wyników modelowania ekonometrycznego, skonstruowane narzędzie empiryczne umożliwia wyznaczenie prognoz wielkości zużycia energii, jej wartości oraz ceny jednostkowej w kolejnych miesiącach, w horyzoncie czasowym przynajmniej kolejnych 12 miesięcy.

**Słowa kluczowe:** model ekonometryczny, popyt, energia elektryczna, układ równań współzależnych

**JEL:** C32, C51, C53, D12

## An Econometric Model of Household Electricity Demand

**Abstract.** Electricity constitutes the foundation of every household's operation in this day and age. The use of domestic gas, fuel oil, as well as solid fuels for heating still requires electricity to power the

---

<sup>a</sup> Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania, Polska / Nicolaus Copernicus University in Toruń, Faculty of Economic Sciences and Management, Poland. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7606-2748>. E-mail: [jerzy.wisniewski@umk.pl](mailto:jerzy.wisniewski@umk.pl).

equipment. Contemporarily, electricity is the most environmentally friendly energy source. Experience has shown that the replacement of a fuel-oil heating system with a heat pump has resulted in significant financial savings for the household.

The purpose of the study entails the construction of a multi-equation econometric model describing the mechanisms of electricity consumption in a specific household. The model hypothesis indicates that the model should take the form of a system of interdependent equations. The following will be described: the monthly volume of electricity consumption (USAGE), the cost of this energy payment in PLN (VALUE), and the price per one MWh in a given month (PRICE). Monthly time series from September 2015 to June 2023 were used. The resulting time series amounted to a count of  $n=94$  statistical observations.

The econometric model of household electricity consumption presented in this paper does not support the hypothesis of feedback between the variables USAGE and PRICE. This is due to the state interventionism in the energy source market in Poland. By contrast, the recursiveness of the effect of electricity consumption volume on its value in monetary units could be observed. Apart from the cognitive value of the econometric modelling results obtained, the empirical tool constructed enables the forecasting of energy consumption volume as well as its unit price and value for a minimum of 12 consecutive months.

**Keywords:** econometric model, demand, electricity consumption, interdependent equations

## 1. Wstęp

Źródła energii stanowią współcześnie fundament życia człowieka. Najważniejszym z rodzajów energii w gospodarstwie domowym jest dziś elektryczność. Istnieją gospodarstwa domowe, w których jedyne źródło ich zasilania to energia elektryczna. Warta uwagi staje się zatem w tym kontekście dokonująca się transformacja energetyczna. Postępuje odchodzenie od kopalnych źródeł energii (ropa naftowa, gaz, węgiel) na rzecz odnawialnych źródeł energii elektrycznej (słońce, wiatr, siła wody). Rozpatrywane gospodarstwo domowe wpisuje się w ten trend.

Intensywna dekarbonizacja gospodarki Polski spowoduje zwiększone zapotrzebowanie gospodarstw domowych na energię elektryczną. Równocześnie rosnące permanentnie ceny energii będą korygowały popyt. W warunkach rynkowych powstanie zatem ujemne sprzężenie zwrotne między ceną energii a jej zużyciem.

Celem niniejszej pracy jest skonstruowanie wielorównaniowego ekonometrycznego mikromodelu, opisującego mechanizmy popytu na energię elektryczną w konkretnym gospodarstwie domowym. Hipotetycznie: budowany mikromodel należy do klasy układów równań współzależnych. Opisane zostaną: miesięczna wielkość zużycia energii elektrycznej, wartość zużycia tej energii (w PLN) oraz cena jednej MWh w danym miesiącu. Wykorzystano

tutaj miesięczne szeregi czasowe od września 2015 roku do czerwca 2023 roku. Powstały tym samym miesięczne szeregi czasowe o liczebności 94 obserwacji statystycznych.

Badanie ma oryginalny charakter. Prezentuje bowiem przypadek konkretnego gospodarstwa domowego, w którym jedynym źródłem energii jest elektryczność. W literaturze brakuje takich badań, głównie ze względu na niedostępność danych statystycznych o zużyciu energii elektrycznej w konkretnych gospodarstwach domowych.

## 2. Przegląd literatury

Problematyka zużycia energii elektrycznej w gospodarstwach domowych stanowi przedmiot wielu prac naukowych. W okresie począwszy od 2016 roku zwracają uwagę artykuły podejmujące zagadnienia analiza zużycia energii elektrycznej w gospodarstwach domowych za pomocą uporządkowanych modeli logitowych: przykład Turcji (Ari i in., 2016). Następny artykuł wart odnotowania dotyczy analizy zachowań związanych z konsumpcją energii elektrycznej. Jest to studium przypadku gospodarstwa domowego nieprowadzącego działalności gospodarczej i biznesowej w Malang (Karisma i in., 2016). Podjęto również temat wpływu czynników geodemograficznych na zużycie energii elektrycznej i modele prognozowania (Singh i in., 2016). W kolejnej pracy rozpatrywano kwestię ekonometrycznego modelowania zużycia energii elektrycznej przez gospodarstwa domowe jako narzędzie do obliczania społecznej normy zużycia (Zaitseva, 2016). Ważne zagadnienie w tym kontekście stanowi badanie oszczędności energii, wynikające ze sterowania prędkościami klimakonwektorów w oparciu o liczbę osób, gdzie zaprezentowano studium przypadku (Hernández-Tabares, 2017). Następna warta odnotowania praca pt. *Disentangling household and individual actors in explaining private electricity consumption* – dotyczy indywidualnego zużycia energii elektrycznej (Seebauer i Wolf, 2017). Z kolei Hidalgo i in. (2018) podjęli temat czynników zapotrzebowania na energię elektryczną w Ekwadorze, poprzez studium przypadku na Monte Sinai. Natomiast w artykule (Kim, 2018) znajdujemy charakterystykę i determinanty zużycia energii elektrycznej przez gospodarstwa domowe w Korei. Praca autorstwa Sharif Ali i in. (2020) podejmuje temat oszacowania i związku krajowego zużycia energii elektrycznej i własności urządzeń w malezyjskim mieście pośrednim. Determinanty zużycia energii elektrycznej w gospodarstwach domowych: dowody i sugestie z zastosowaniem w Czarnogórze stanowiły przedmiot badań autorów: Đurišić i in. (2020). W Grecji przeprowadzono badania socjodemograficznych determinant zużycia energii elektrycznej w gospodarstwach domowych,

z wykorzystaniem analizy regresji kwantylowej (Kostakis, 2020). Przypadek Nigerii znajdziemy w pracy (Mamudu i Ochei, 2020), gdzie podjęto się empirycznej analizy zużycia energii elektrycznej w powiązaniu ze wzrostem gospodarczym w Nigerii. Nieliniowa analiza efektu ceny energii elektrycznej w zużyciu energii elektrycznej w gospodarstwie domowym stanowiły przedmiot badania w artykule Zhang i Wen (2021). Wreszcie przeprowadzono porównanie zużycia energii w amerykańskich domach według regionu klimatycznego (Debs i Metzinger, 2022). Model zapotrzebowania na energię elektryczną gospodarstwa domowego w warunkach rynkowych (bez ingerencji państwa) zaprezentowany został w pracy Wiśniewski (2023).

Z powyższego przeglądu literatury wynika, że badacze interesują się znacząco różnymi aspektami zużycia energii elektrycznej w gospodarstwie domowym. Konieczne są jednak kolejne badania tego zagadnienia, istotnego dla funkcjonowania każdego z gospodarstw domowych, niezależnie od miejsca jego zlokalizowania. W niniejszej pracy zaprezentowany zostanie ekonometryczny wielorównaniowy mikromodel ekonometryczny, opisujący popyt na energię elektryczną w warunkach interwencjonizmu państwowego.

### **3. Metoda badania**

W pracy podjęta zostanie próba opisu mechanizmu zmienności zużycia energii elektrycznej w gospodarstwie domowym w ujęciu miesięcznym w okresie od września 2015 roku do czerwca 2023 roku. Rozpatrywane gospodarstwo domowe znajduje się w Toruniu (Polska). Obejmuje obszar o powierzchni ponad 6000 m<sup>2</sup>, na którym posadowiony jest dom o powierzchni około 300 m<sup>2</sup>, garaż wolnostojący o powierzchni około 60 m<sup>2</sup> oraz budynek gospodarczy o powierzchni około 450 m<sup>2</sup>. Jedynym źródłem zasilania wykorzystywanym w tym gospodarstwie domowym jest energia elektryczna pozyskiwana wyłącznie z publicznej sieci energetycznej. Brakuje zasilania gazowego. Do marca 2021 roku dom ogrzewany był olejem opałowym, z okresowym wspomaganie kominkiem. W kwietniu 2021 roku zainstalowano pompę ciepła, eliminując ogrzewanie olejowe. Energia elektryczna jest zatem wykorzystywana do celów grzewczych i oświetleniowych domu mieszkalnego, garażu i budynku gospodarczego, chłodniczych oraz poboru wody gruntowej, jako użytkowej, a ponadto do nawadniania terenu.

W niniejszej pracy opisany zostanie mechanizm zużycia energii elektrycznej, za pomocą stochastycznego układu równań współzależnych. Scharakteryzowane będą: miesięczna

wielkość zużycia energii elektrycznej, wartość zużycia tej energii (w PLN) oraz cena jednej MWh w danym miesiącu. Wykorzystano tutaj miesięczne szeregi czasowe od września 2015 roku do czerwca 2023 roku. Powstały tym samym miesięczne szeregi czasowe o liczebności 94 obserwacji statystycznych.

Rozpatrywana będzie jej zmienność ilościowo, wartościowo oraz dyspersja ceny jednostkowej za 1 MWh, czyli:

$$\text{USAGE} \begin{matrix} \nearrow \text{VALUE} \\ \searrow \text{PRICE} \end{matrix} \quad (1)$$

gdzie USAGE jest wielkością miesięcznego zużycia energii elektrycznej, VALUE informuje o miesięcznym koszcie zużycia energii elektrycznej w PLN, natomiast PRICE oznacza cenę jednostkową za 1 MWh w złotych. Formuła (1) wskazuje, że wielkość zużycia energii elektrycznej wpływa bezpośrednio na jej koszt w gospodarstwie domowym, jak również na jej cenę jednostkową. Równocześnie cena jednostkowa energii wywiera wpływ na wielkość jej zużycia. Oznacza to, że zmienne USAGE oraz PRICE tworzą sprzężenie zwrotne, czyli:

$$\text{USAGE} \begin{matrix} \longrightarrow \\ \longleftarrow \end{matrix} \text{PRICE} \quad (2)$$

Można oczekiwać ujemnego sprzężenia zwrotnego powyższej pary zmiennych. Wzrost zużycia energii skutkuje obniżką ceny jednostkowej, natomiast wyższa cena jednostkowej skłania do zmniejszenia zużycia energii elektrycznej.

W kolejnych empirycznych równaniach rozpatrywanego modelu wystąpią również opóźnione zmienne endogeniczne, czyli:

USAGE\_1, USAGE\_2, ..., USAGE\_12 – opóźnienia zmiennej zużycie energii, od 1 do 12 miesięcy,

VALUE\_1, VALUE\_2, ..., VALUE\_12 – opóźnienia zmiennej wartość zużytej energii, od 1 do 12 miesięcy,

PRICE\_1, PRICE\_2, ..., PRICE\_12, – opóźnienia zmiennej cena jednostkowa energii, od 1 do 12 miesięcy.

Zbiór zmiennych egzogenicznych tworzyć będą:

TIME – zmienna czasowa,

dm1 – zmienna zerojedynkowa, przyjmująca wartość 1 w styczniu każdego roku oraz 0 w pozostałych miesiącach,

dm7 – zmienna zerojedynkowa, przyjmująca wartość 1 w lipcu każdego roku oraz 0 w pozostałych miesiącach,

PUMP – zmienna zerojedynkowa, przyjmująca wartość 1 w miesiącach po zainstalowaniu pompy ciepła oraz 0 w całym poprzedzającym okresie oraz

NORM – zmienna zerojedynkowa, przyjmująca wartość 1 w miesiącach po przekroczeniu normy zużycia, przy niskiej cenie energii oraz 0 w okresach obowiązywania niskiej ceny.

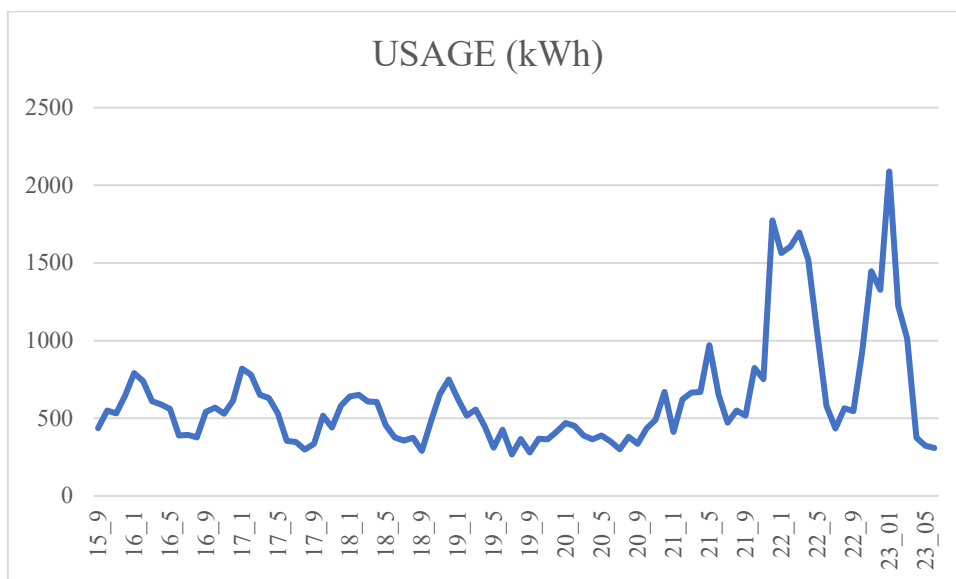
Proces zużycia energii elektrycznej w gospodarstwie domowym opisany zostanie za pomocą trzech równań stochastycznych. Parametry każdego z równań oszacowane będą klasyczną metodą najmniejszych kwadratów. Przyczyny takiego podejścia estymacyjnego opisano w pracy Wiśniewski (2022). W równaniach modelu uwzględniono autoregresję, opóźnienia zmiennych endogenicznych, trend oraz miesięczne wahania okresowe. Model taki może być wykorzystany do prognozowania zmiennych endogenicznych metodą iteracyjną, opisaną w pracach Wiśniewski (2021, 2016, podrozdział 2.5).

Rozpatrywany przypadek nie stanowi odzwierciedlenia warunków konkurencji doskonałej. Istnieją tu jednak możliwości dokonania wyboru dostawcy energii elektrycznej przez konsumenta spośród wielu oraz wyboru taryfy u wybranego dostawcy. Wskutek tego konsument ma niewielki wpływ również na cenę dostarczanej energii elektrycznej. Zamrożenie cen energii elektrycznej ogranicza mechanizm rynkowy.

## **4. Rezultaty i dyskusja**

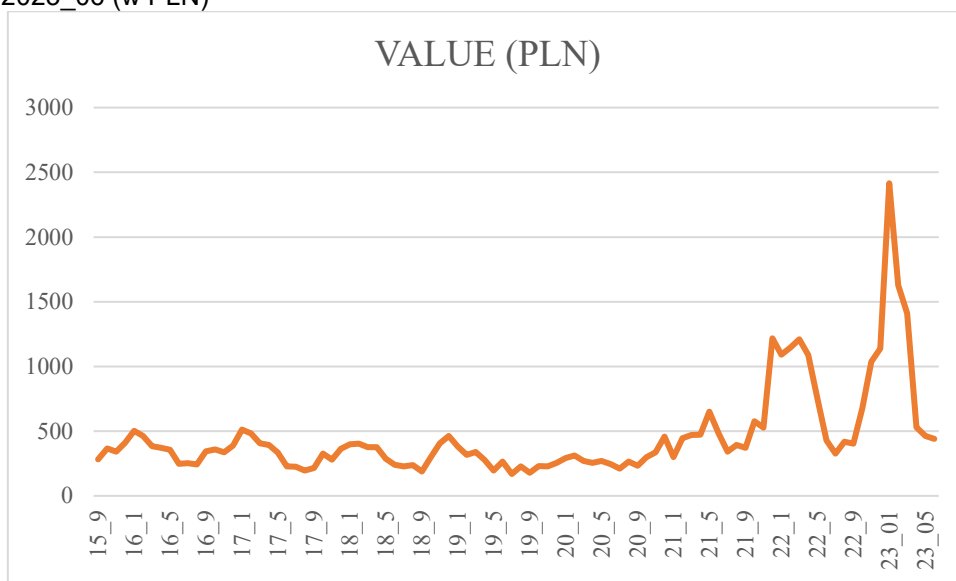
W okresie 2015–2023 występowały sezonowe oscylacje wielkości zużycia energii elektrycznej oraz kwot jej wartości w rozpatrywanym gospodarstwie domowym. Po rezygnacji z ogrzewania olejowego domu i wody użytkowej i instalacji pompy ciepła nastąpiło gwałtowne zwiększenie wielkości zmiennych USAGE oraz VALUE. Ilustrują to wykry. 1 oraz 2. W okresie 2015–2021 obserwuje się też stabilizację ceny jednostkowej energii. Skok ceny pojawił się na przełomie lat 2022–2023. Od tego czasu dają się zauważyć wahania ceny jednostkowej, z lekką skłonnością do systematycznego wzrostu. Proces ten ilustruje wykry. 3, przedstawiający wahania zmiennej PRICE. Ceny jednostkowe energii elektrycznej w gospodarstwie domowym kształtowały się na poziomie od 607,89 PLN do 1432,07 PLN za 1 MWh.

**Wykr. 1.** Miesięczne zużycie energii elektrycznej w gospodarstwie domowym w okresie 2015\_9 – 2023\_06



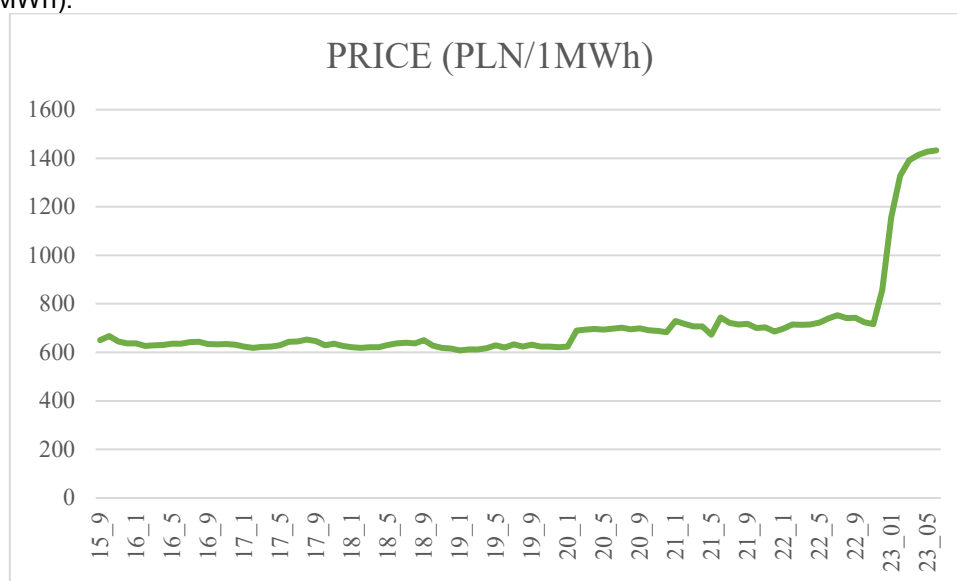
Źródło: faktury firmy ENERGA.

**Wykr. 2.** Wartość miesięcznego zużycia energii elektrycznej w gospodarstwie domowym w okresie 2015\_9 – 2023\_06 (w PLN)



Źródło: faktury firmy ENERGA.

**Wykr. 3.** Ceny 1 MWh energii elektrycznej w gospodarstwie domowym w okresie 2015\_9 – 2023\_06 (w PLN/1MWh).



Źródło: obliczenia własne.

Oszacowano parametry trzech równań stochastycznych, tworzących system popytu na energię elektryczną w gospodarstwie domowym. Pierwsze z równań empirycznych opisuje mechanizm zużycia energii elektrycznej (p. tabl. 1). Dokładność opisu w tym równaniu jest niższa w porównaniu z pozostałymi dwoma równaniami ( $R^2 = 0.888$ ). Wynika to z pominięcia w równaniu kilku drobnych czynników, których nie można było zarejestrować. Są to:

- częstość przygotowywania i spożywania posiłków poza domem;
- częstotliwość wyjazdów na okres dłuższy niż kilka dni – dom pozostaje bez użytkowników;
- częstość uruchamiania instalacji nawadniających i wiele innych.

Ważną rolę odgrywa w tym równaniu cena jednostkowa energii elektrycznej. Niestety, nie potwierdziła się hipoteza o sprzężeniu zwrotnym. Cena opóźniona o 1 i 6 miesięcy wpływa dodatnio na zużycie energii elektrycznej. Natomiast reakcja negatywna pojawia się po 7 miesiącach. Wówczas wzrost ceny energii elektrycznej po upływie 7 miesięcy wpływa na zmniejszenie wielkości zużycia energii. Działa tu więc klasyczny mechanizm spadku popytu pod wpływem przyrostu ceny jednostkowej.

**Tabl. 1.** Równanie empiryczne: USAGE, wykorzystane obserwacje: 2016:04-2023:06 (N = 87)<sup>1</sup>

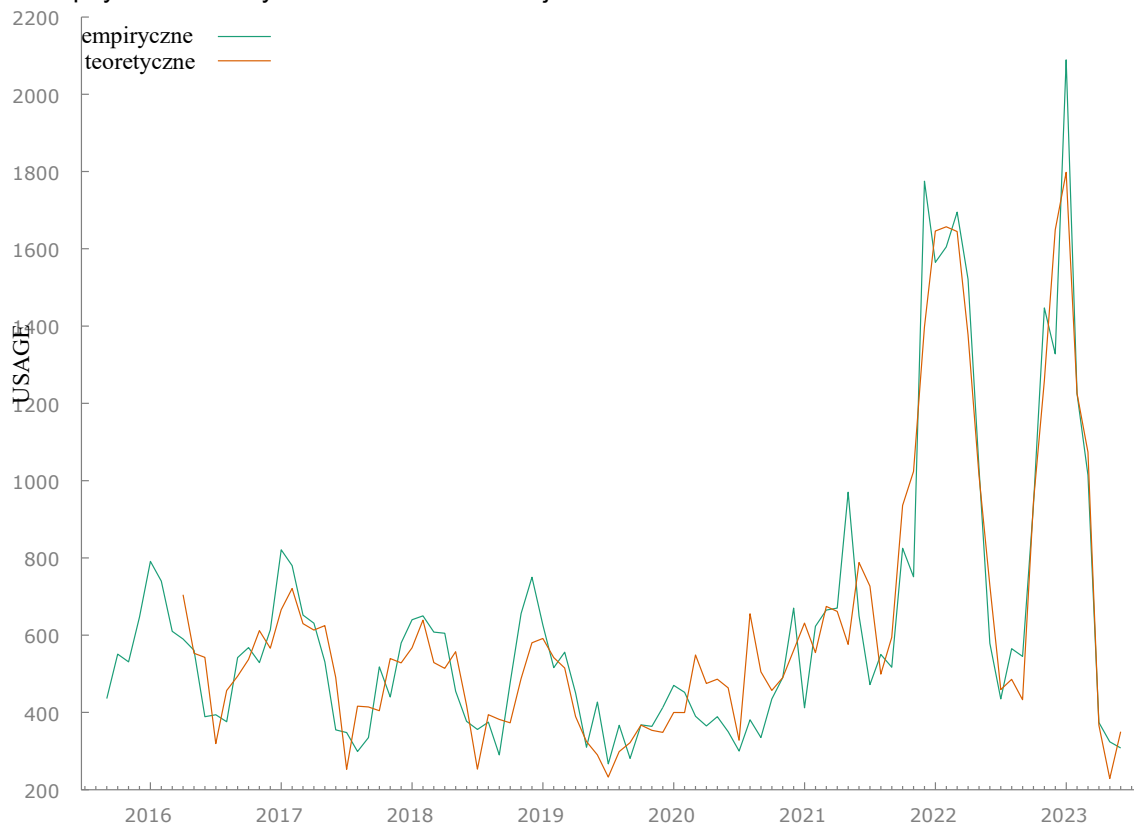
| Zmienna                    | Współczynnik | Błąd stand. | t-Studenta                | wartość p | Istotność |
|----------------------------|--------------|-------------|---------------------------|-----------|-----------|
| const                      | -997,211     | 422,775     | -2,359                    | 0,0209    | **        |
| PRICE_1                    | 1,9510       | 0,5410      | 3,606                     | 0,0006    | ***       |
| PRICE_6                    | 3,3684       | 0,832772    | 4,045                     | 0,0001    | ***       |
| PRICE_7                    | -3,2349      | 0,972600    | -3,326                    | 0,0014    | ***       |
| PUMP                       | 471,663      | 63,3220     | 7,449                     | <0,0001   | ***       |
| NORM                       | -1610,84     | 315,355     | -5,108                    | <0,0001   | ***       |
| TIME                       | -2,7752      | 1,06526     | -2,605                    | 0,0110    | **        |
| dm7                        | -129,853     | 54,8534     | -2,367                    | 0,0205    | **        |
| USAGE_1                    | 0,6050       | 0,0706      | 8,575                     | <0,0001   | ***       |
| USAGE_4                    | 0,1940       | 0,0866      | 2,239                     | 0,0280    | **        |
| USAGE_5                    | -0,2729      | 0,07766     | -3,514                    | 0,0007    | ***       |
| Średn. arytm. zm. zależnej |              | 626,8276    | Odch. stand. zm. zależnej |           | 375,0270  |
| Suma kwadratów reszt       |              | 1355514     | Błąd standardowy reszt    |           | 133,5504  |
| Wsp. determ. R-kwadrat     |              | 0,887932    | Skorygowany R-kwadrat     |           | 0,873186  |
| F(10, 76)                  |              | 60,21612    | Wartość p dla testu F     |           | 5,35e-32  |
| Logarytm wiarygodności     |              | -543,3872   | Kryt. inform. Akaike'a    |           | 1108,774  |
| Kryt. bayes. Schwarza      |              | 1135,899    | Kryt. Hannana-Quinna      |           | 1119,697  |
| Autokorel.reszt - rho1     |              | -0,147176   | Statystyka Durbina h      |           | -1,823183 |

Źródło: obliczenia własne z wykorzystaniem pakietu GRETl.

Z równania empirycznego wynika, że wykorzystywanie pompy ciepła zwiększyło zużycie energii elektrycznej w gospodarstwie domowym średnio o 471,7 kWh miesięcznie. Oznacza to, że pompa ciepła wywołała zwiększenie zużycia energii elektrycznej w gospodarstwie domowym o blisko 5660 kWh rocznie. Zastąpienie pompą ciepła ogrzewania domu i wody piecem olejowym przyniosło znaczące obniżenie kosztów. W omawianym równaniu empirycznym pojawiają się też zależności autoregresyjne: dodatnie 1 i 4 miesięczne oraz korygujące ujemne o okresie 5 miesięcy. Gwałtowny kryzys energetyczny, który pojawił się w 2022 roku spowodował interwencję państwa na rynku energii (elektryczność, gaz, węgiel). Uwzględniona w równaniu zmienna NORM przyjmuje wartość 1 w miesiącach, w których gospodarstwo domowe przekroczyło normę zużycia, gwarantującą obniżoną cenę energii elektrycznej. Empiryczny rezultat informuje o tym, że interwencja państwa skutkowała w gospodarstwie domowym zmniejszenie zużycia energii o 1,61 MWh. Wystąpił też ujemny trend zużycia energii, prowadząc do zmniejszenia jej konsumpcji średnio o 2,78 kWh miesięcznie. Ujemne odchylenie sezonowe pojawia się w lipcu, gdy zużycie energii było średnio o 129,85 kWh mniejsze w stosunku do składowych systematycznych. Graficzną ilustrację rzeczywistych wielkości zużycia energii elektrycznej oraz wartości teoretycznych, uzyskanych z modelu empirycznego przedstawia wykr. 4.

<sup>1</sup> W tablicach wyników empirycznych ostatnia kolumna informuje o poziomie istotności  $p$ , przy którym dana zmienna objaśniająca jest istotna. Przy tym \*\*\* oznacza, że zmienna jest istotna na poziomie istotności  $p < 0,01$ . Natomiast \*\* informuje o istotności zmiennej przy  $0,01 \leq p < 0,05$ .

**Wykr. 4.** Empiryczne i teoretyczne wartości zmiennej: USAGE



Źródło: obliczenia własne z wykorzystaniem pakietu GRETl i tabl. 1.

W tabl. 2 przedstawione jest empiryczne równanie opisujące zmienność miesięcznej wartości zużytej energii elektrycznej. Pojawia się tu rekurencyjność oddziaływania wielkości zużycia energii na jej wartość. Dokładność opisu zmiennej VALUE jest bardzo wysoka. Współczynnik  $R^2 = 0,985$  wskazuje, że 98.5% zmienności wartości zużytej energii zostaje wyjaśniona przez zmienne objaśniające równania. Równoczesny jednostkowy wzrost zużycia energii powoduje przyrost jej wartości o około 723,1 PLN za 1 MWh. Równocześnie pojawiają się ujemne korekty z opóźnieniami o 1, 3, 4, 5, 7 i 10 miesięcy. Ważne jest zwłaszcza nawiązanie sekwencyjne z okresu 1 miesiąca. Oznacza to, że ponad 1,7% wartości z miesiąca poprzedniego ujawnia się w bieżącej wartości energii elektrycznej gospodarstwa domowego. Pojawia się też nieznaczna ujemna korekta autoregresyjna zmiennej VALUE z opóźnieniem o 6 miesięcy. Występuje dodatnia sezonowość miesięczna w styczniu, zwiększając wartość zużycia energii o 70,15 PLN. Ponadto zmienna reprezentująca interwencję państwa (NORM) wskazuje na zmniejszenie wartości zużytej energii o 1035,21 PLN. W skali roku oszczędność ta jest niewielka. Zmienne objaśniające równania wyjaśniają zmienność blisko 98,5% mechanizmu kształtowania zmiennej VALUE. Graficzną ilustrację rzeczywistych wartości zużycia energii

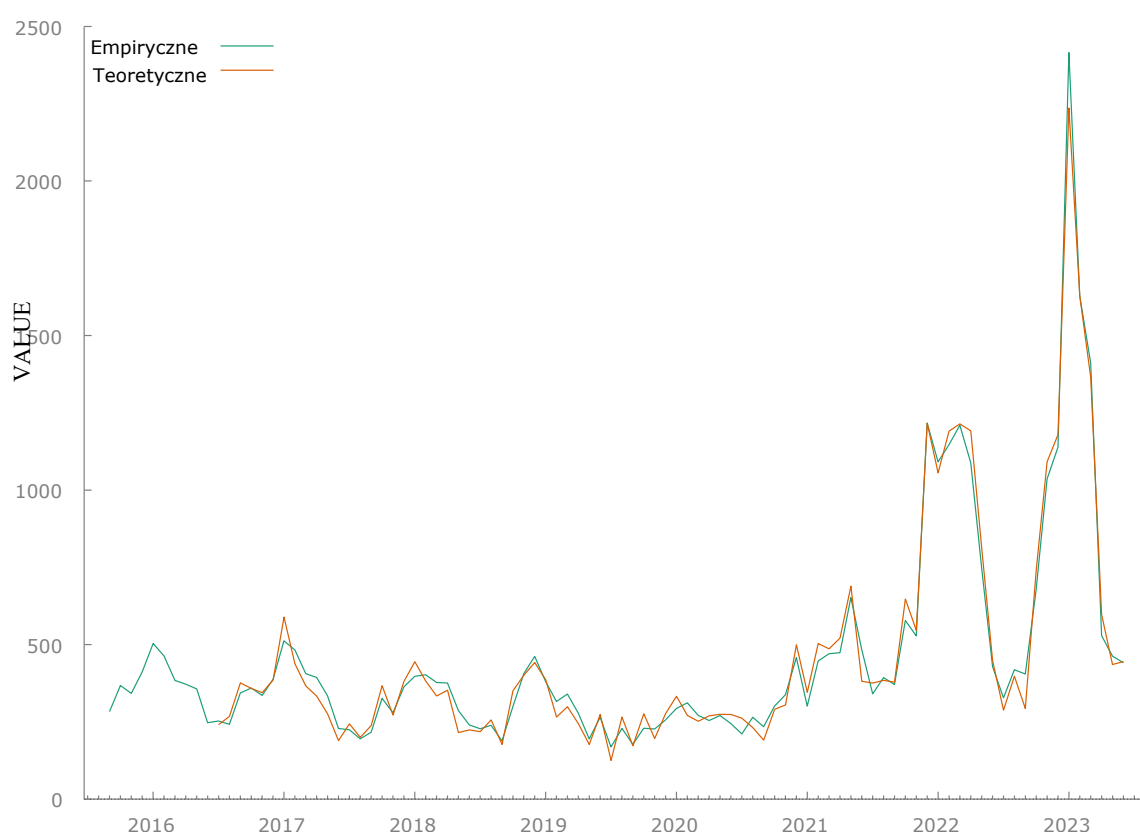
elektrycznej oraz wartości teoretycznych, uzyskanych z modelu empirycznego, przedstawia wykr. 5.

**Tabl. 2.** Równanie empiryczne: VALUE, wykorzystane obserwacje: 2016:07-2023:06 (N = 84)

| Zmienna                    | Współczynnik | Błąd stand. | t-Studenta                | wartość p | Istotność |
|----------------------------|--------------|-------------|---------------------------|-----------|-----------|
| const                      | 6,7918       | 28,7154     | 0,2365                    | 0,8137    |           |
| USAGE                      | 0,7231       | 0,0386      | 18,73                     | <0,0001   | ***       |
| USAGE_1                    | -1,3027      | 0,1399      | -9,311                    | <0,0001   | ***       |
| USAGE_3                    | -0,0930      | 0,0397      | -2,344                    | 0,0220    | **        |
| USAGE_4                    | -0,2517      | 0,1051      | -2,396                    | 0,0194    | **        |
| USAGE_5                    | -0,6484      | 0,1260      | -5,145                    | <0,0001   | ***       |
| USAGE_6                    | 1,8432       | 0,2977      | 6,192                     | <0,0001   | ***       |
| USAGE_7                    | -0,1014      | 0,0456      | -2,224                    | 0,0295    | **        |
| USAGE_10                   | -1,1337      | 0,3479      | -3,259                    | 0,0018    | ***       |
| NORM                       | -1035,21     | 167,494     | -6,181                    | <0,0001   | ***       |
| dm1                        | 70,1465      | 21,9273     | 3,199                     | 0,0021    | ***       |
| VALUE_1                    | 1,6958       | 0,2031      | 8,350                     | <0,0001   | ***       |
| VALUE_2                    | 0,1025       | 0,0435      | 2,355                     | 0,0215    | **        |
| VALUE_4                    | 0,5171       | 0,1313      | 3,938                     | 0,0002    | ***       |
| VALUE_5                    | 1,0634       | 0,1573      | 6,760                     | <0,0001   | ***       |
| VALUE_6                    | -2,9105      | 0,4442      | -6,552                    | <0,0001   | ***       |
| VALUE_10                   | 1,9932       | 0,5334      | 3,737                     | 0,0004    | ***       |
| Średn. arytm. zm. zależnej |              | 466,0512    | Odch. stand. zm. zależnej |           | 368,3280  |
| Suma kwadratów reszt       |              | 170121,4    | Błąd standardowy reszt    |           | 50,38973  |
| Wsp. determ. R-kwadrat     |              | 0,984892    | Skorygowany R-kwadrat     |           | 0,981284  |
| F(16, 67)                  |              | 272,9808    | Wartość p dla testu F     |           | 1,86e-54  |
| Logarytm wiarygodności     |              | -438,9558   | Kryt. inform. Akaike'a    |           | 911,9115  |
| Kryt. bayes. Schwarz       |              | 953,2354    | Kryt. Hannana-Quinna      |           | 928,5234  |
| Autokorel.reszt - rho1     |              | 0,044285    | Statystyka Durbina h      |           | NA        |

Źródło: obliczenia własne z wykorzystaniem pakietu GRETL.

**Wykr. 5.** Empiryczne i teoretyczne wartości zmiennej: VALUE



Źródło: obliczenia własne z wykorzystaniem pakietu GRETL i tabl. 2.

W tabl. 3 zamieszczono empiryczne równanie miesięcznej ceny jednostkowej energii elektrycznej, realizowanej w gospodarstwie domowym. Potwierdziła się hipoteza o sprzężeniu zwrotnym występującym pomiędzy zmiennymi PRICE oraz USAGE. Wzrost zużycia energii elektrycznej skutkuje równoczesnym spadkiem ceny jednej MWh. Relatywnie wysokie stałe koszty w cenie jednostkowej rozkładają się na większą ilość jednostek zużytej energii. Skutkuje to obniżką ceny jednostkowej za 1 MWh. W równaniu dostrzega się też dodatnie korekty ceny jednostkowej co 1 i 6 miesięcy oraz ujemną korektę z opóźnieniem o 5 miesięcy. Reakcja wielkości zużycia energii elektrycznej na korektę cen następuje zatem z rozmaitymi opóźnieniami czasowymi.

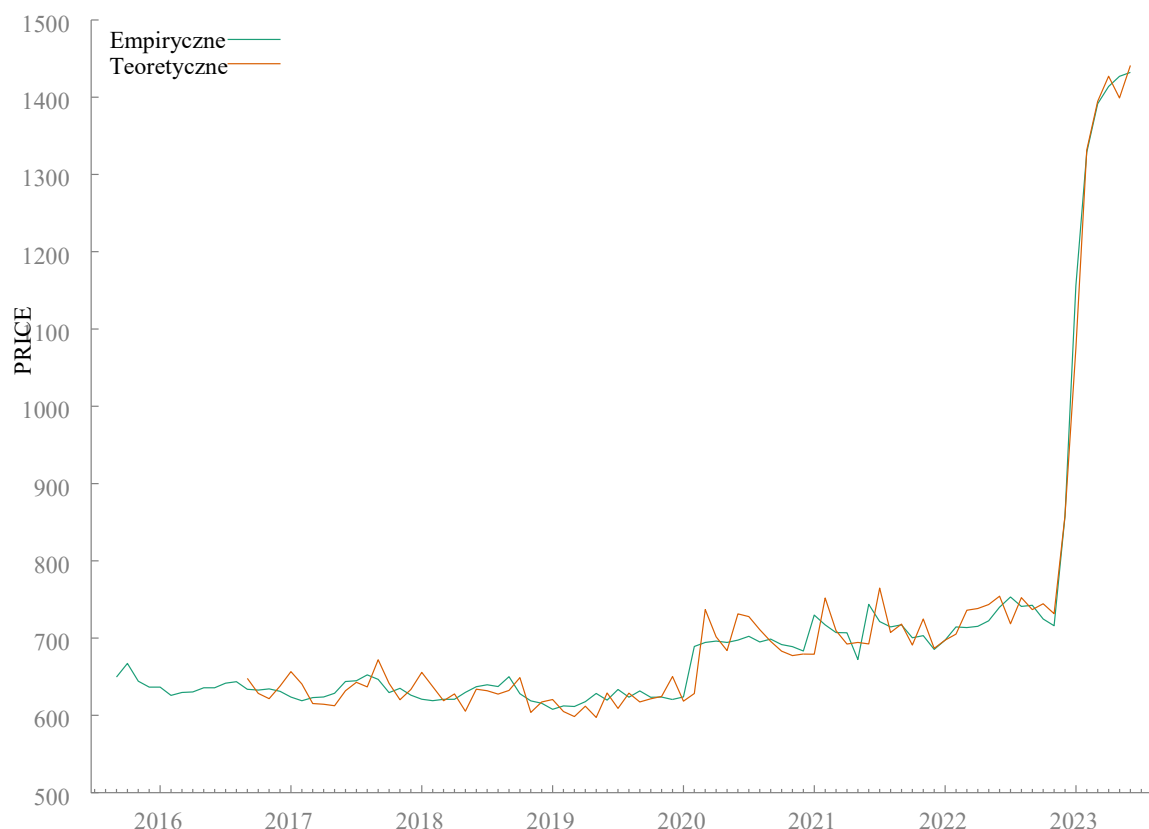
W rozpatrywanym okresie dał się zaobserwować rosnący trend ceny jednostkowej. Następował średniomiesięczny wzrost ceny 1 MWh o blisko 28 groszy. Dodatkowo występuje dodatnia autoregresja ceny jednostkowej. Bieżąca cena jednostkowa stanowi rezultat ponad 84% ceny poprzedniego miesiąca. Dodatkowo pojawiają się autoregresyjne korekty zmiennej PRICE: dodatnia o ponad 35 groszy co 11 miesięcy oraz ujemna o ponad 29 groszy co 12 miesięcy. Równanie empiryczne, zamieszczone w tabl. 3 z dużą dokładnością opisuje mechanizm zmienności jednostkowej ceny energii elektrycznej. Wyjaśnione zostało 98,5% zmienności ceny jednostkowej. Wykr. 6 ilustruje zmienność ceny, przedstawiając rzeczywiste oraz teoretyczne wielkości zmiennej PRICE.

**Tabl. 3.** Równanie empiryczne: PRICE, wykorzystane obserwacje: 2016:09-2023:06 (N = 82)

| Zmienna                | Współczynnik | Błąd stand. | t-Studenta             | wartość p | Istotność |
|------------------------|--------------|-------------|------------------------|-----------|-----------|
| const                  | -102,749     | 54,390      | -1,889                 | 0,063     | *         |
| USAGE_1                | 0,0466       | 0,0157      | 2,960                  | 0,004     | ***       |
| USAGE_2                | -0,0470      | 0,0150      | -3,144                 | 0,002     | ***       |
| USAGE_7                | -0,0204      | 0,0102      | -2,012                 | 0,048     | **        |
| USAGE_12               | 0,0898       | 0,0146      | 6,155                  | <0,0001   | ***       |
| NORM                   | -285,196     | 57,9209     | -4,924                 | <0,0001   | ***       |
| dm6                    | 24,7786      | 10,8831     | 2,277                  | 0,0260    | **        |
| PRICE_1                | 1,9522       | 0,1444      | 13,52                  | <0,0001   | ***       |
| PRICE_2                | -0,6623      | 0,0999      | -6,626                 | <0,0001   | ***       |
| PRICE_5                | 0,3298       | 0,1140      | 2,892                  | 0,005     | ***       |
| PRICE_6                | -0,51980     | 0,1807      | -2,876                 | 0,005     | ***       |
| Średn.aryt.zm.zależnej |              | 718,0197    | Odch.stand.zm.zależnej |           | 188,7766  |
| Suma kwadratów reszt   |              | 44666,70    | Błąd standardowy reszt |           | 25,08204  |
| Wsp. determ. R-kwadrat |              | 0,984526    | Skorygowany R-kwadrat  |           | 0,982347  |
| F(10, 71)              |              | 451,7342    | Wartość p dla testu F  |           | 4,39e-60  |
| Logarytm wiarygodności |              | -374,6638   | Kryt. inform. Akaike'a |           | 771,3276  |
| Kryt. bayes. Schwarza  |              | 797,8015    | Kryt. Hannana-Quinna   |           | 781,9565  |
| Autokorel.reszt - rho1 |              | -0,136109   | Statystyka Durbina h   |           | NA        |

Źródło: obliczenia własne z wykorzystaniem pakietu GRETL

**Wykr. 6.** Empiryczne i teoretyczne wartości zmiennej: PRICE



Źródło: obliczenia własne z wykorzystaniem pakietu GRETl i tabl. 3.

## 5. Wnioski

Energia elektryczna jest obecnie fundamentem funkcjonowania każdego gospodarstwa domowego. Wykorzystywanie do ogrzewania domu zarówno gazu, oleju opałowego, jak też paliw stałych – wymaga również zasilania urządzeń energią elektryczną. Współcześnie energia elektryczna stanowi najbardziej sprzyjające środowisku naturalnemu źródło energetycznym. Doświadczenie pokazało, że zastąpienie olejowego systemu ogrzewania przez pompę ciepła, przyniosło znaczące oszczędności finansowe w gospodarstwie domowym. Ponadto poprawił się komfort życia dzięki temu, że nie jest konieczne zamawianie oleju opałowego przynajmniej dwukrotnie w ciągu roku.

W ostatnich 12 rozważanych miesiącach koszt energii elektrycznej gospodarstwa domowego wyniósł 10889,09 PLN. Gdyby korzystać z ogrzewania olejem opałowym, wówczas koszt tego źródła energii mógł wynieść około 17000 PLN. Do tego należy doliczyć zużycie energii elektrycznej na obsługę kotła olejowego (około 1000 PLN). Oszczędności są zatem znaczne.

Zaprezentowany w niniejszej pracy ekonometryczny model zużycia energii elektrycznej w gospodarstwie domowym nie potwierdza hipotezy o sprzężeniu zwrotnym pomiędzy

zmiennymi USAGE (zużycie energii) oraz PRICE (cena jednostkowa). Potwierdzona została natomiast rekurencyjność wpływu wielkości zużycia energii elektrycznej na jej wartość w jednostkach pieniężnych. W latach 2022 i 2023 wystąpił poważny kryzys energetyczny. Jego konsekwencją w Polsce była interwencja państwa w rynkowy mechanizm ekonomiczny. W dbałości o ograniczenie wydatków gospodarstw domowych – rząd zamroził ceny energii elektrycznej, ograniczając w ten sposób mechanizm rynkowy. Owa ingerencja poskutkowała eliminacją sprzężenia zwrotnego pomiędzy zmiennymi: cena energii i jej zużycie. Zakończenie kryzysu powinno spowodować ponowne pojawienie się sprzężenia zwrotnego rozpatrywanej pary zmiennych.

Poza walorami poznawczymi uzyskanych wyników modelowania ekonometrycznego, skonstruowane narzędzie empiryczne umożliwia wyznaczenie prognoz wielkości zużycia energii, jej wartości oraz ceny jednostkowej w kolejnych miesiącach, przynajmniej na kolejne 12 miesięcy. Pojawia się jednak jedna istotna niewiadoma. W związku z kryzysem energetycznym trudno ustalić – nawet w krótkim okresie jakie będą ceny jednostki energii elektrycznej, która jest dostarczana ze świata zewnętrznego. Nawet ta niewiadoma pozwoli jednak stosunkowo dokładnie przewidzieć przyszłe wielkości zmiennej USAGE.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że kolejną inwestycją w gospodarstwie domowym może być instalacja fotowoltaiczna. Warunkiem jej realizacji jest gruntowna analiza ekonomiczna efektywności takiego przedsięwzięcia, które w dużym stopniu zależy od uwarunkowań legislacyjnych. Warto podkreślić, że rozpatrywane w niniejszym badaniu gospodarstwo domowe, choć specyficzne pod względem wielkości i wykorzystania energii, może stanowić reprezentatywny przykład dla pewnej grupy polskich gospodarstw domowych. Szczególnie obejmuje te podmioty, które korzystają wyłącznie z energii elektrycznej jako źródła zasilania. Wyniki uzyskane w tym studium przypadku mogą zatem znaleźć zastosowanie w szerszym kontekście, a mianowicie do gospodarstw, które zainstalowały podobne systemy ogrzewania jak pompy ciepła oraz tych, które są narażone na podobne wzorce zużycia energii. Pomimo specyfiki tego przypadku istotne wnioski dotyczące wpływu cen energii na zużycie oraz kosztów związanych z przejściem na bardziej efektywne energetycznie systemy dają się przenieść na inne gospodarstwa domowe o zbliżonych cechach. Sugeruje to, że zaprezentowane narzędzia analizy ekonometrycznej mogą być użyteczne w prognozowaniu zużycia energii i kosztów w szerszym zakresie. Ma to szczególne znaczenie w kontekście rosnącej roli energii elektrycznej w polskich gospodarstwach domowych.

Rozwiązanie zastosowane w analogicznych przypadkach gospodarstw domowych może przynieść znaczące korzyści w postaci ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Obniżyć też

może bieżące wydatki na energię elektryczną. Sformułowane hipotezy badawcze potwierdzone zostały empirycznie jedynie częściowo. Obserwuje się bowiem wzrost zużycia energii elektrycznej w gospodarstwie domowym po zainstalowaniu pompy ciepła. Po zaniechaniu interwencji rządu w mechanizm rynkowy, powinno ponownie pojawić się ujemne sprzężenie zwrotne pomiędzy zużyciem energii elektrycznej w gospodarstwie domowym a jej ceną jednostkową.

## Bibliografia

- Ari, E., Aydin, N., Karacan, S., Saracli, S. (2016). Analysis of Households' Electricity Consumption with Ordered Logit Models: Example of Turkey. *International Journal of Humanities and Social Science Invention*, 5(6), 73–84. [https://www.ijhssi.org/papers/v5\(6\)/I0506073084.pdf](https://www.ijhssi.org/papers/v5(6)/I0506073084.pdf).
- Debs, L., Metzinger, J. (2022). A Comparison of Energy Consumption in American Homes by Climate Region. *Buildings*, 12(1), 1–20. <https://doi.org/10.3390/buildings12010082>.
- Đurišić, V., Rogić, S., Smolović, J. C., Radonjić, M. (2020). Determinants of household electrical energy consumption: Evidences and suggestions with application to Montenegro. *Energy Reports*, 6(Supplement 3), 209–217. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.10.039>.
- Hernández-Tabares, L. (2017). Energy savings from occupancy based control of the fan coil unit speeds: a case study. *Revista de Ingeniería Energética*, 38(3), 208–212. <https://www.redalyc.org/pdf/3291/329152934006.pdf>.
- Hidalgo, J., Coello, S., González, Y. (2018). *The Determinants of Household Electricity Demand in Marginal Ecuador: "A Case Study at Monte Sinai"* (Conference Paper). <https://doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.312>.
- Karisma, K. A., Maski, G., Noor, I. (2016). Analysis of Electricity Consumption Behaviour: Case Study of Non-business and Business Household in Malang. *International Journal of Social and Local Economic Governance*, 2(2), 168–176. <https://doi.org/10.21776/ub.ijleg.2016.002.02.8>.
- Kim, M.-J. (2018). Characteristics and determinants by electricity consumption level of households in Korea. *Energy Reports*, 4, 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2017.12.001>.
- Kostakis, I. (2020). Socio-demographic determinants of household electricity consumption: evidence from Greece using quantile regression analysis. *Current Research in Environmental Sustainability*, 1, 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2020.04.001>.
- Mamudu, Z. U., Ochei, M., C. (2020). Electricity Consumption and Economic Growth in Nigeria: An Empirical Analysis. *IOSR Journal of Economics and Finance*, 11(6), 1–17. <https://doi.org/10.9790/5933-1106030117>.
- Seebauer, S., Wolf, A. (2017). Disentangling household and individual actors in explaining private electricity consumption. *Energy Efficiency*, 10(1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s12053-016-9435-x>.
- Singh, J. P., Alam, O., Yassine, A. (2016). Influence of Geodemographic Factors on Electricity Consumption and Forecasting Models. *IEEE Access*, 10, 70456–70466. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3188004>.

- Sharif Ali, S. S., Razman, M. R., Awang, A. (2020). The Estimation and Relationship of Domestic Electricity Consumption and Appliances Ownership in Malaysia's Intermediate City. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(6), 116–122. <https://doi.org/10.32479/ijeeep.8358>.
- Tewathia, N. (2014). Determinants of the Household Electricity Consumption: A Case Study of Delhi. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 4(3), 337–348. <https://www.econjournals.com/index.php/ijeeep/article/view/796>.
- Wiśniewski, J. W. (2016). *Microeconometrics in Business Management*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119154136>.
- Wiśniewski, J. W. (2021). Forecasting in Small Business Management. *Risks*, 9(4), 1–17. <https://doi.org/10.3390/risks9040069>.
- Wiśniewski, J. W. (2022). *On the Two Stage Least Squares Method in Econometric Micromodeling* (16th International Scientific Conference Analysis of International Relations 2022. Methods and Models of Regional Development).
- Wiśniewski, J. W. (2023). An Econometric Model of Household Electricity Consumption. A Case Study of Poland. *Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization and Management Series*, (178), 705–716. <http://dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2023.178.39>.
- Zajcewa, Ju. W. (2016). Ekonomiczne modele modelowania potrzeb energii elektrycznej gospodarstw domowych jako instrument wyliczenia socjalnej normy potrzeb energii. *Ekonomika regiona*, 12(2), 405–416. <https://doi.org/10.17059/2016-2-7>.
- Zhang, L., Wen, X. (2021). Nonlinear Effect Analysis of Electricity Price on Household Electricity Consumption. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021(1), 1–13. <https://doi.org/10.1155/2021/8503158>.