

Skutki gospodarcze niedostarczenia energii elektrycznej do odbiorców komunalno-bytowych

Streszczenie. W artykule zaprezentowano aktualne wartości współczynnika jednostkowych kosztów strat przymusowej bezczynności mieszkańców k_{ch} oraz ekonomicznego równoważnika strat przymusowej bezczynności mieszkańców k_{Ab} , spowodowanych przerwami w dostawie energii elektrycznej. Wykorzystując teorię Ekonometrii opracowano modele ekonometryczne współczynnika k_{Ab} bazujące na powszechnie dostępnych danych statystycznych. Powyższe dane pochodzą z okresu dwudziestu jeden lat. W badaniach wykorzystano pakiety Statistica i Excel, których zastosowanie było konieczne do wyżej wymienionych analiz oraz do opracowania wyników badań i ich wizualizacji.

Abstract. The paper presents current value of costs caused by interruptions in the electricity supply. Econometric modeling and forecasting of the economic equivalent of the cost of enforced idleness residents were described. Researchers made use of commonly available statistical data. The data cover twenty one years of observation. The researchers used Statistica and Excel software to analysis, calculations and visualisations. (Economic effects of not delivering electricity to municipal consumers).

Słowa kluczowe: indywidualni odbiorcy energii elektrycznej, jakość energii elektrycznej, niezawodność dostaw energii elektrycznej, skutki przerw w zasilaniu, koszty strat przymusowej bezczynności

Keywords: individual electricity customers, power quality, reliability of electricity supply, effects of power outages, costs of involuntary inactivity

Wstęp

Produkt pracy ludzkiej przeznaczony na sprzedaż staje się towarem. Energia elektryczna jest zatem towarem, który został wytworzony (elektrownia), przetransportowany (sieci przesyłowe i dystrybucyjne), sprzedany (spółki obrotu) oraz kupiony (odbiorca) [7, 8]. Dobro może wystąpić jako towar tylko wtedy, gdy odpowiada zapotrzebowaniu społeczeństwa, czyli gdy jest w stanie zaspokoić określone jego potrzeby [7]. Aby odbiorcy mogli w pełni korzystać z energii elektrycznej, musi ona (jako towar) posiadać odpowiednie cechy jakościowe. Jakość zasilania odbiorców w energię elektryczną można podzielić na [13]:

- jakość dostarczenia energii elektrycznej (jakość napięcia),
- niezawodność dostawy energii elektrycznej (niezawodność zasilania),
- jakość obsługi odbiorcy (klienta).

Parametry jakościowe energii elektrycznej dostarczanej odbiorcom w poszczególnych grupach przyłączeniowych określone są w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 20 grudnia 2004 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, ruchu i eksploatacji tych sieci (Dz. U. 2005 Nr 2, poz. 6) [15]. Doprecyzowano je w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz. U. Nr 93, poz. 623) [16]. Parametry określające jakość energii elektrycznej zawarto z kolei w Polskiej Normie PN-EN 50160:1998 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych, stanowiącej implementację Normy Europejskiej EN 50160:1994 [14]. Niezawodność dostaw energii do odbiorców obejmuje zagadnienia przerw w zasilaniu oraz ich skutków. Wreszcie jakość obsługi odbiorców to wszelkie zależności handlowe, ale także interpersonalne między dostawcą energii, a jej odbiorcą, obejmujące uwarunkowania prawne, ekonomiczne, a także społeczne, decydujące o bieżących standardach obsługi odbiorców i praktykach załatwiania skarg i reklamacji.

W niniejszym opracowaniu Autorzy dokonali analizy kosztów strat u odbiorców energii występujących na skutek zawodności układów elektroenergetycznych. Ponieważ oszacowanie ekonomicznego równoważnika strat przymusowej bezczynności mieszkańców na terenie gospodarstw domowych, wynikających z braku zasilania

energiją elektryczną, jest dość kłopotliwe, podjęta została próba stworzenia jego modeli ekonometrycznych. W przypadku znalezienia wiarygodnego modelu, istniałaby bowiem możliwość określenia wartości równoważnika na podstawie powszechnie dostępnych danych statystycznych.

Skutki gospodarcze niedostarczenia energii elektrycznej do odbiorców komunalno-bytowych

Gospodarstwa komunalno-bytowe są to przede wszystkim gospodarstwa domowe. Zalicza się do nich odbiorców zamieszkujących tereny miejskie oraz wiejskie. Wymagania tych grup są bardzo zróżnicowane. O ile odbiorcy z obszarów miejskich wykorzystują elektryczność tylko do celów domowych, to odbiorcy terenowi potrzebują jej również do celów produkcyjnych, czyli m. in. do zasilania odbiorników produkcyjnych w gospodarstwie rol-nym. Gospodarstwa wiejskie wymagają również zasilania dodatkowych narzędzi elektrycznych i urządzeń ogólnego przeznaczenia (podgrzewcze wody, szlifierki, betoniarki itp.).

Pomimo różnych potrzeb tych odbiorców, jedna kwestia pozostaje wspólna, a mianowicie potrzeba niezawodności dostaw energii elektrycznej. Współczesny odbiorca energii elektrycznej ma bardzo wysokie wymagania odnośnie jakości oraz ciągłości jej dostaw. Przerwy w dostawie elektrycznej powodują bowiem dezorganizację życia codziennego i zdenerwowanie, straty gospodarcze, straty społeczne, a w szczególnych przypadkach zagrażają zdrowiu lub życiu człowieka [3, 4, 11, 12].

Straty wynikające z awaryjnych przerw w zasilaniu energiją elektryczną gospodarstw domowych dzieli się następująco [3, 4, 11]:

- straty przymusowej bezczynności,
- straty zniszczeniowe,
- straty spowodowane pogorszeniem warunków sanitarno-zdrowotnych.

Przy analizie strat zawodnościowych u odbiorców bytowych zazwyczaj pomija się straty spowodowane pogorszeniem warunków sanitarno-zdrowotnych, ponieważ są one małe w porównaniu ze stratami przymusowej bezczynności i stratami zniszczeniowymi. Wartość strat wymienionych w punkcie pierwszym i drugim zależy przede wszystkim od czasu trwania przerwy w zasilaniu [3, 11]. Łączne koszty strat zawodnościowych u mieszkańców w gospodarstwach domowych otrzymuje się z zależności [3, 11]:

$$(1) \quad K_z = k_{zj} \cdot T_p \cdot M$$

gdzie: k_{zj} – jednostkowe koszty strat zawodnościowych spowodowanych przerwami w zasilaniu odbiorców bytowych w energię elektryczną (jednostkowy równoważnik zawodnościowych strat odbiorców komunalnych) w PLN/(h·M); T_p – spodziewany roczny czas trwania przerw w zasilaniu odbiorców bytowych w h/a; M – liczba stałych mieszkańców zamieszkujących teren objęty przerwą w zasilaniu.

Na jednostkowe koszty strat zawodnościowych składają się jednostkowe koszty strat przymusowej beczynności mieszkańców k_{zbj} w PLN/(h·M) oraz jednostkowe koszty strat zniszczeniowych materialnych k_{zzj} w PLN/(h·M) [3, 11]:

$$(2) \quad k_{zj} = k_{zbj} + k_{zzj}$$

Ekonomiczny równoważnik niedostarczonej do odbiorców bytowych energii elektrycznej wyznacza się z zależności [3, 11]:

$$(3) \quad k_A = \frac{K_z}{\Delta A_a}$$

gdzie: ΔA_a – roczna ilość energii elektrycznej niedostarczonej do odbiorców bytowych w wyniku awarii w kW·h [3, 11]:

$$(4) \quad \Delta A_a = P_{sr} \cdot T_p = \frac{A_r}{T_r} \cdot T_p = \frac{A_r \cdot b}{T_m} \cdot T_p = \frac{A_m \cdot b \cdot M}{T_m} \cdot T_p$$

gdzie: P_{sr} – średnia moc pobierana przez odbiorców bytowych w kW; T_m – średnia roczna liczba godzin aktywności przeciętnego mieszkańca na terenie domu w h/a, T_r – planowany roczny czas zasilania odbiorców bytowych (najczęściej przyjmuje się $T_r = 8760$ h/a), b – współczynnik określony zależnością [3, 11]:

$$(5) \quad b = \frac{T_m}{T_r} = \frac{A_a}{A_r}$$

A_r – roczne zużycie energii elektrycznej przez odbiorców bytowych w kW·h/a, A_m – roczne zużycie energii elektrycznej przez jednego odbiorcę bytowego w kW·h/(a·M), A_a – roczne zużycie energii elektrycznej przez odbiorców bytowych w okresie aktywności w kW·h/a.

Po podstawieniu zależności (1) oraz (4) do (3) otrzymuje się zależność pozwalającą na wyznaczenie ekonomicznego równoważnika niedostarczonej energii do odbiorców bytowych:

$$(6) \quad k_A = k_{zj} \cdot \frac{T_m}{b \cdot A_m} = k_{zj} \cdot \frac{T_{md}}{b \cdot A_{md}}$$

gdzie: T_{md} – średnia dobowo liczba godzin aktywności przeciętnego mieszkańca na terenie domu w h/(d·M), A_{md} – dobowe zużycie energii elektrycznej przez jednego mieszkańca w kW·h/(d·M)

Po podstawieniu do zależności (6) zależności (2) otrzymuje się:

$$(7) \quad k_A = k_{zbj} \cdot \frac{T_m}{b \cdot A_m} + k_{zzj} \cdot \frac{T_m}{b \cdot A_m} = k_{Ab} + k_{Az}$$

gdzie: k_{Ab} – ekonomiczny równoważnik strat przymusowej beczynności (strat marnotrawstwa czasu) mieszkańców, spowodowanych przerwami w dostawie energii elektrycznej

do odbiorców bytowych w PLN/kW·h, k_{Az} – ekonomiczny równoważnik strat zniszczeniowych materialnych u odbiorców bytowych (równoważnik strat materialnych niedostarczonej energii), spowodowanych przerwami w dostawie energii elektrycznej w PLN/kW·h.

Straty przymusowej beczynności mieszkańców

Energia elektryczna jest najważniejszym nośnikiem energii w gospodarstwach domowych. W związku z powyższym przerwa w jej dostawie wpływa na ograniczenie aktywności mieszkańców na terenie domu. Ponoszą oni wówczas straty związane z przymusową beczynnością.

W ciągu doby można wyróżnić dwa podstawowe okresy, w których wpływ przerw w zasilaniu energią elektryczną na aktywność mieszkańców jest różnicowany. Okres pierwszy, to czas trwania oświetlenia naturalnego, w którym tylko niektóre czynności są związane z dostawą energii elektrycznej. Okres drugi, to czas trwania oświetlenia elektrycznego. W czasie tym praktycznie wszystkie czynności wymagają wykorzystania energii elektrycznej. Jak wykazały wyniki badań zaprezentowane w [2] marnotrawstwo czasu jest około 5-krotnie ($n_1 = 5$) większe w okresie drugim. Także pora dnia ma znaczący wpływ na aktywność mieszkańców na terenie domu. Przyjmuje się, że czas aktywności mieszkańców w okresie pierwszym stanowi około 0,3, natomiast w drugim około 0,7 ($a = 0,7$) całkowitego czasu aktywności na terenie domu [2, 11].

Średni czas aktywności mieszkańca na terenie domu w ciągu doby T_{md} szacuje się na około 7,5 h/d. Czas ten obejmuje takie czynności, jak: przygotowanie posiłków, dodatkowe prace zawodowe, prace przy komputerze, nauka, oglądanie telewizji, słuchanie radia, sprzątanie, czytanie książek, prasy, itp. Uwzględniając sezon urlopowy przyjmuje się, iż mieszkańcy przebywają w domu średnio 350 dni w roku. W związku z powyższym średni roczny czas aktywności mieszkańca na terenie domu T_m wynosi 2625 h/a [11].

Biorąc pod uwagę powyższe dane, a także analizując wykresy dobowe obciążeń odbiorców komunalnych, Autor pracy [11] podaje, iż 70% dobowego zużycia energii elektrycznej przypada na okres aktywności mieszkańców ($b = 0,7$).

Wyznaczenie kosztów strat przymusowej beczynności mieszkańców jest uwarunkowane wyznaczeniem współczynnika k_{Ab} . Wyraża on bowiem wartość społeczną czasu aktywności czynnego zawodowo mieszkańca, przypadającą na jednostkę dostarczonej energii elektrycznej w okresie jego aktywności. W przypadku przerwy w zasilaniu odbiorców stanowi on jednostkowy koszt strat tej aktywności. Równoważnik k_{zbj} jest wskaźnikiem zastępczym, określającym jednostkową wartość marnotrawstwa czasu zarówno osób czynnych, jak i nieczynnych zawodowo [11].

Równoważnik k_{zbj} wyznacza się z równania rocznych kosztów beczynności jednego mieszkańca:

$$(8) \quad W_s \cdot a \cdot T_o + \frac{W_s}{n_1} \cdot (T_m - a \cdot T_o) = k_{zbj} \cdot T_m$$

gdzie: W_s – średnia wartość społeczna jednej godziny czasu aktywności przeciętnego mieszkańca na terenie domu w PLN/(M·h), T_o – przeciętny roczny czas użytkowania oświetlenia elektrycznego przez mieszkańców w h/a (W Polsce średni czas użytkowania oświetlenia wynosi około 4,5 h/d, a zatem roczny czas użytkowania oświetlenia wynosi 1575 h/a).

Pierwsza część lewej strony zależności (8) określa wartość społeczną czasu aktywności mieszkańca w okresie

drugim, natomiast druga część w okresie pierwszym. Po przekształceniu zależności (8) otrzymujemy:

$$(9) \quad k_{zbp} = \frac{W_s}{T_m} \cdot \left[a \cdot T_o + \frac{T_m - a \cdot T_o}{n_1} \right]$$

Średnia wartość społeczna jednej godziny aktywności jednego mieszkańca na terenie domu wyznaczana jest z zależności [11]:

$$(10) \quad W_s = \frac{M_c \cdot W_c + M_n \cdot W_n}{M_c + M_n} = W_n \cdot [k \cdot (n_2 - 1) + 1]$$

gdzie: W_c , W_n – wartość społeczna jednej godziny czasu aktywności na terenie domu osoby czynnej oraz nieczynnej zawodowo w PLN/(M·h), M_c , M_n – liczba mieszkańców czynnych oraz nieczynnych zawodowo, n_2 – stosunek wartości czasu aktywności na terenie domu osoby czynnej zawodowo do wartości czasu aktywności osoby nieczynnej zawodowo (średnia wartość dla Polski wynosi $n_2 = 2$), k – stosunek czynnych zawodowo mieszkańców M_c do ogólnej liczby osób $M_c + M_n$.

Wartość wskaźnika W_n wyznacza się z bilansu dochodu narodowego:

$$(11) \quad (M_c + M_n) \cdot p_k = M_c \cdot T_{pr} \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot W_n + M_c \cdot T_m \cdot n_2 \cdot W_n + M_n \cdot T_m \cdot W_n$$

gdzie: p_k – roczny produkt krajowy w cenach czynników wytwórczych, wytworzony we wszystkich działach gospodarki krajowej na jednego mieszkańca w PLN/(a·M), T_{pr} – średnia roczna liczba godzin przeznaczonych na pracę zawodową jednej osoby dla wszystkich działów gospodarki krajowej w h/a, n_3 – stosunek wartości rocznego czasu przeznaczonego na pracę zawodową do wartości rocznego czasu aktywności na terenie domu dla osób czynnych zawodowo (średnia wartość dla Polski wynosi $n_3 = 2$).

Równanie (11) zapisane zostało przy założeniu, iż produkt krajowy wypracowywany przez osoby czynne zawodowo, jest udziałem wszystkich (czynnych i nieczynnych zawodowo), bowiem osoby nieczynne zawodowo są niezbędnym czynnikiem procesu produkcji. Po przekształceniu równania (11) otrzymujemy:

$$(12) \quad W_n = \frac{p_k}{k \cdot T_{pr} \cdot n_2 \cdot n_3 + k \cdot T_m \cdot n_2 + (1 - k) \cdot T_m}$$

Straty zniszczeniowe materialne

Przerwa w zasilaniu energią elektryczną może stać się przyczyną znacznych strat materialnych zniszczeniowych. Są to przede wszystkim straty wynikające z możliwości zniszczenia produktów żywnościowych łatwopsujących się przechowywanych w chłodziarkach i zamrażarkach oraz artykułów żywnościowych poddanych już częściowej obróbce w trakcie przygotowywania posiłków. Straty te są szczególnie dotkliwe w przypadku budynków w których energia elektryczna jest jedynym nośnikiem energii. Szczególne znaczenie mają straty wynikające ze zniszczenia żywności przechowywanej w urządzeniach chłodniczych i głównie one są brane pod uwagę przy szacowaniu strat zniszczeniowych w budynkach mieszkalnych.

Straty zniszczeniowe wynikające z zaistnienia przerwy w zasilaniu, przypadające na jednego mieszkańca można wyrazić zależnością [11]:

$$(13) \quad k_{zjp} = \begin{cases} 0 & \text{dla } t_p \leq t_{p1} \\ k_{zg} \cdot (t_p - t_{p1}) & \text{dla } t_{p1} \leq t_p \leq t_{p1} + \Delta t_p \\ \Delta t_p & \end{cases}$$

gdzie: t_p – czas trwania przerwy w zasilaniu odbiorców komunalnych, t_{p1} – czas przerwy w zasilaniu, która nie powoduje strat zniszczeniowych, k_{zg} – graniczna wartość strat zniszczeniowych k_{zjp} , Δt_p – przedział czasu w którym straty zniszczeniowe rosną proporcjonalnie do czasu przerwy w zasilaniu.

Po przekroczeniu czasu przerwy $t_{p1} + \Delta t_p$ nie występują straty, bowiem wszystko co było w chłodziarkach uległo już zniszczeniu.

Ekonomiczny równoważnik niedostarczonej energii elektrycznej do zasilania chłodziarek, przypadającej na jedną przerwę o czasie trwania t_p i na jednego mieszkańca można wyrazić zależnością [11]:

$$(14) \quad k_{Az} = \frac{k_{zjp}}{\Delta A_{jch}}$$

gdzie: ΔA_{jch} – energia elektryczna niedostarczona do chłodziarki w wyniku jednej przerwy o czasie trwania t_p , wyznaczona z zależności:

$$(15) \quad \Delta A_{jch} = P_{jch} \cdot t_p$$

gdzie: P_{jch} – średnia godzinowa moc chłodziarki, przypadająca na jedną osobę, wyznaczona z zależności:

$$(16) \quad P_{jch} = \frac{A_{jch}}{24 \cdot M}$$

gdzie: A_{jch} – zużycie energii elektrycznej w chłodziarkach w mieszkaniu w ciągu doby, M – liczba mieszkańców.

Po podstawieniu zależności (13) do (14) otrzymujemy:

$$(17) \quad k_{Az} = \begin{cases} 0 & \text{dla } t_p \leq t_{p1} \\ k_{zg} \cdot (t_p - t_{p1}) & \text{dla } t_{p1} \leq t_p \leq t_{p1} + \Delta t_p \\ \Delta t_p \cdot P_{jch} \cdot t_p & \end{cases}$$

Sumując całkowite koszty roczne strat przymusowej bezczynności oraz koszty strat zniszczeniowych otrzymuje się całkowite koszty strat zawodnościowych.

Przedstawiona powyżej metoda obliczania kosztów strat jest metodą dość dokładną, ale jednocześnie pracochłonna, wymagającą przede wszystkim zgromadzenia bardzo obszernego materiału statystycznego. W związku z powyższym istnieją przybliżone metody oceny kosztów strat zawodnościowych u odbiorców bytowych. W publikacji [17], jej Autor podaje następującą zależność do obliczania gospodarczego równoważnika niedostarczonej energii elektrycznej:

$$(18) \quad k_A = k_{Ab} = \frac{K_z}{\Delta A_n} = \frac{T_r \cdot K_{sp}}{A_m \cdot T_m} \cdot \alpha \cdot \beta$$

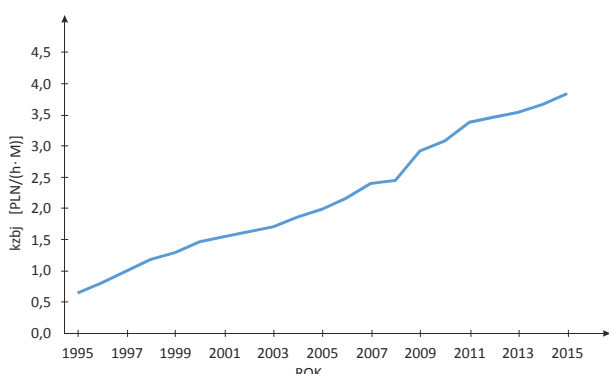
gdzie: T_r – roczny czas pracy odbiorników energii elektrycznej u odbiorców bytowych w h/a, K_{sp} – krajowy roczny fundusz spożycia dóbr i usług przypadający na jednego mieszkańca w PLN/M, A_m – roczne krajowe zużycie energii elektrycznej przez odbiorców bytowych na jednego mieszkańca w kW·h/M, T_m – roczny czas

aktywności mieszkańca na terenie domu (poza pracą zawodową) w h/a, α – stopień utraty aktywności mieszkańca na skutek braku zasilania energią elektryczną ($\alpha = 0,4 - 0,7$), β – prawdopodobieństwo, że niedostarczenie energii elektrycznej nastąpiło w czasie aktywności mieszkańca ($\beta = 0,8 - 1,0$).

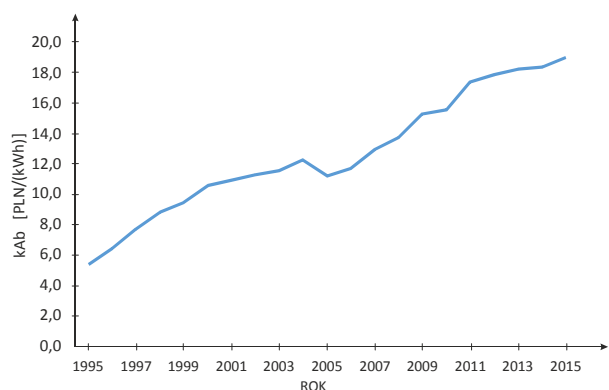
Wskaźniki statystyczne charakteryzujące koszty strat przymusowej beczynności mieszkańców

Na podstawie danych statystycznych GUS oraz ARE z lat 1995-2015 [1, 6] zostały wyznaczone parametry i wskaźniki charakteryzujące koszty strat przymusowej beczynności mieszkańców, spowodowane przerwą w zasilaniu energią elektryczną. Otrzymane wartości zostały przedstawione w tabeli 1.

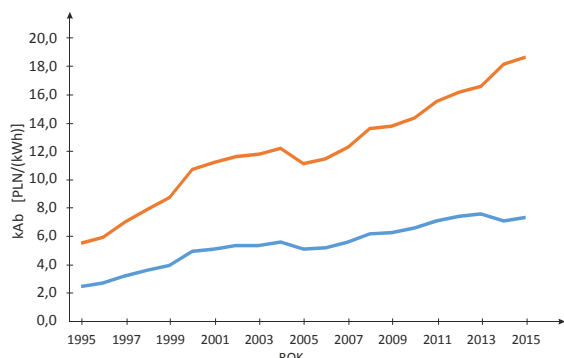
Zmiany wartości jednostkowych kosztów strat przymusowej beczynności oraz ekonomicznego równoważnika strat przymusowej beczynności mieszkańców w latach 1995-2015 zostały przedstawione na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Średnia wartość jednostkowych kosztów strat przymusowej beczynności mieszkańca na terenie domu k_{zby} w latach 1995-2015



Rys. 2. Średnia wartość ekonomicznego równoważnika strat przymusowej beczynności mieszkańca na terenie domu k_{Ab} w latach 1995-2015



Rys. 3. Największe i najmniejsze wartości ekonomicznego równoważnika strat przymusowej beczynności mieszkańca na terenie domu k_{Ab} w latach 1995-2015 wyznaczone z zależności (18)

W celu porównania, ekonomiczny równoważnik strat przymusowej beczynności mieszkańców wyznaczony został także z uproszczonej zależności (18). Ponieważ na otrzymaną wartość istotny wpływ ma przyjęta wartość współczynników α oraz β , wyznaczone zostały wartości skrajne dla $\alpha_{min} = 0,4$ i $\beta_{min} = 0,8$ oraz dla $\alpha_{max} = 0,7$ i $\beta_{max} = 1,0$. Otrzymane wartości zostały przedstawione w tabeli 2 oraz zilustrowane na rysunku 3.

Analizując dane zawarte w tabelach 1 oraz 2 można zaobserwować, że wartości maksymalne k_{Ab} otrzymane w wyniku użycia zależności (18) są zbliżone do wartości otrzymanych w wyniku zastosowania zależności (7) [3].

Modelowanie ekonometryczne wartości ekonomicznego równoważnika strat przymusowej beczynności mieszkańców

Autorzy podjęli próbę stworzenia wiarygodnych oraz stabilnych modeli ekonometrycznych [9, 10] równoważnika kosztów przymusowej beczynności mieszkańców, wynikających z niedostarczenia energii elektrycznej. Przedstawione w artykule metody wyznaczania równoważnika są bardzo dokładne, wymagają jednak znajomości wielu parametrów i wskaźników, przy czym niektóre z nich nie są dostępne w wydawnictwach statystycznych oraz są bardzo trudne do oszacowania, jak np. roczny czas pracy odbiorców energii elektrycznej u odbiorców bytowych, roczny czas aktywności mieszkańca na terenie domu, czy też stosunek wartości czasu aktywności na terenie domu osoby czynnej zawodowo do wartości czasu aktywności osoby nieczynnej zawodowo. Opracowane modele ekonometryczne powstały na bazie ogólnodostępnych danych, zamieszczonych w Roczniku Statystycznym Rzeczypospolitej Polskiej [6], Roczniku Statystycznym Przemysłu [5] oraz w Statystyce Elektroenergetyki Polskiej [1].

W pierwszej fazie badań Autorzy wytypowali ponad sto zmiennych mogących mieć potencjalnie wpływ na kształtowanie się wartości ekonomicznego równoważnika strat przymusowej beczynności mieszkańców. Zbiór pierwotnych zmiennych objaśniających tworzą wielkości wpływające na wartość k_{Ab} , dobrane na podstawie badań statystycznych oraz poddane wcześniejszej szczegółowej analizie. Następnie przeprowadzona została statystyczna procedura wyboru zmiennych objaśniających. Procedura ta rozpoczyna się od eliminacji zmiennych quasi-stałych, które nie wnoszą istotnych informacji do potencjalnego modelu. Następnie obliczane są współczynniki korelacji zmiennej objaśnianej k_{Ab} z potencjalnymi zmiennymi objaśniającymi. Ze zbioru potencjalnych zmiennych objaśniających eliminuje się zmienne słabo skorelowane ze zmienną objaśnianą. Po dokładnych badaniach, jako zmienne objaśniające w realizowanych modelach przyjęto ostatecznie: X_1 – roczne zużycie energii elektrycznej w gospodarstwach domowych [GW·h/a], X_2 – średnie roczne zużycie energii elektrycznej w gospodarstwach domowych na mieszkańca [kW·h/(M·a)], X_3 – średnie zużycie energii elektrycznej w gospodarstwach domowych na mieszkańca na dobę [kW·h/(M·d)], X_4 – roczne spożycie artykułów żywnościowych łatwo psujących się, przypadające na jednego mieszkańca [PLN/(M·a)], X_5 – roczny dochód narodowy netto [mln PLN/a], X_6 – roczny dochód narodowy netto przypadający na jednego mieszkańca [mln PLN/(M·a)], X_7 – krajowy fundusz spożycia (dóbr materialnych i usług) na jednego mieszkańca [mln PLN/(M·a)], X_8 – produkcja energii w źródłach odnawialnych [GW·h/a], X_9 – przeciętne miesięczne wynagrodzenie brutto [PLN], X_{10} – krajowe nakłady na działalność badawczą i

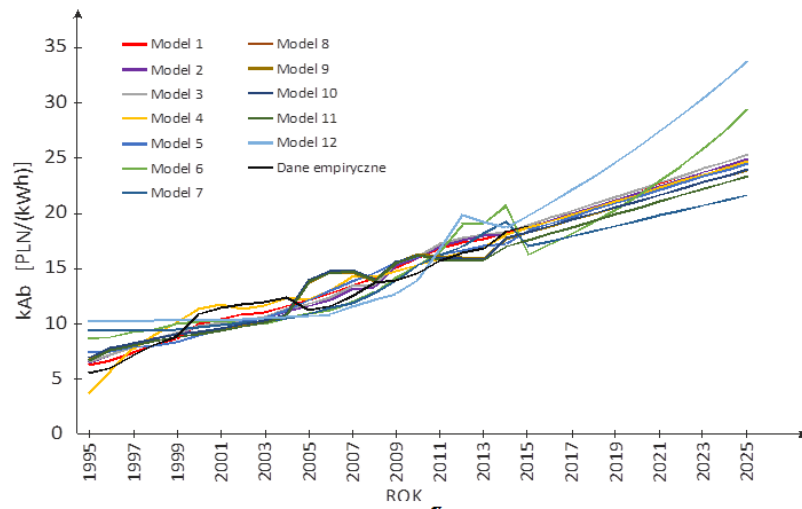
rozwojową [mln. PLN], X_{11} – ilość mieszkań wyposażona w zmywarkę [szt.], X_{12} – ilość mieszkań wyposażona w kuchenki mikrofalowe [szt.].

Spośród wymienionych zmiennych wybiera się zmienną najsilniej skorelowaną ze zmienną objaśnianą. W kolejnym etapie oblicza się macierz współczynników korelacji między potencjalnymi zmiennymi objaśniającymi. Eliminuje się zmienne zbyt silnie skorelowane z wybraną wcześniej pierwszą zmienną objaśnianą, a więc powielające dostarczane przez nią informacje. Ostatnim etapem modelowania jest oszacowanie parametrów, przyjętych w badaniach modeli liniowych, metodą najmniejszych kwadratów. Wszystkie opracowane modele zostały poddane weryfikacji poprzez wyznaczenie współczynnika determinacji oraz standardowego błędu estymacji.

Zestawienie opracowanych modeli ekonometrycznych o najwyższym współczynniku determinacji zostało zaprezentowane w tabeli 3.

Prognozowanie wartości ekonomicznego równoważnika kosztów przymusowej bezczynności mieszkańców

Na podstawie opracowanych modeli ekonometrycznych przeprowadzona została prognoza średniookresowa współczynnika k_{Ab} na lata 2016–2025. Prognozowane wartości zostały przedstawione w tabeli 4 oraz zilustrowane na rysunku 4. Prognozy wykonano przy założeniu niezmienności trendu wszystkich zmiennych objaśniających.



Rys. 4. Wartości empiryczne oraz prognoza ekonomicznego równoważnika strat przymusowej bezczynności mieszkańca na terenie domu k_{Ab} wyznaczone na podstawie dwunastu opracowanych modeli ekonometrycznych

Tabela 1. Współczynniki charakteryzujące straty przymusowej bezczynności mieszkańców

Rok	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
k_{zby} [PLN/(h·M)]	0,64	0,81	1,00	1,18	1,30	1,47	1,54	1,63	1,70	1,87	1,99	2,16	2,40	2,45	2,93	3,08	3,38	3,46	3,54	3,67	3,83
k_{Ab} [PLN/(kW·h)]	5,36	6,40	7,64	8,76	9,44	10,53	10,91	11,21	11,52	12,24	11,20	11,67	12,90	13,70	15,24	15,55	17,35	17,83	18,23	18,35	18,99

Tabela 2. Największe i najmniejsze wartości ekonomicznego równoważnika strat przymusowej bezczynności mieszkańca na terenie domu k_{Ab} w latach 1995-2015 wyznaczone z zależności (18)

Rok	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
k_{Abmin} PLN/kW·h	2,54	2,74	3,25	3,68	4,04	4,98	5,21	5,40	5,46	5,66	5,15	5,30	5,68	6,28	6,36	6,66	7,18	7,49	7,67	7,18	7,44
k_{Abmax} PLN/kW·h	5,56	6,00	7,12	8,05	8,83	10,88	11,39	11,80	11,95	12,38	11,26	11,59	12,43	13,74	13,91	14,57	15,70	16,38	16,78	18,33	18,89

Tabela 3. Modele ekonometryczne wartości ekonomicznego równoważnika strat przymusowej bezczynności mieszkańca na skutek przerwy w zasilaniu energią elektryczną (w nawiasach podano standardowe błędy szacunku parametrów strukturalnych)

Lp.	Postać modelu	a_0 [PLN/kW·h]	a_1		Współczynnik determinacji	Błąd standardowy estymacji
1	$k_{Ab} = a_0 + a_1 \cdot X_7$	3,31 (0,385)	0,00042 (0,00002)	$\frac{PLN/kWh}{m\ln PLN/(M \cdot a)}$	0,97	0,63
2	$k_{Ab} = a_0 + a_1 \cdot X_5$	3,80 (0,381)	0,00001 (0,0000004)	$\frac{PLN/kWh}{m\ln PLN/a}$	0,97	0,66
3	$k_{Ab} = a_0 + a_1 \cdot X_6$	3,80 (0,382)	0,00039 (0,00002)	$\frac{PLN/kWh}{m\ln PLN/(M \cdot a)}$	0,97	0,66
4	$k_{Ab} = a_0 + a_1 \cdot X_9$	2,23 (0,41)	0,00423 (0,0002)	$\frac{PLN/kWh}{PLN}$	0,97	0,65
5	$k_{Ab} = a_0 + a_1 \cdot X_4$	-5,90 (1,17)	0,09336 (0,006)	$\frac{PLN/kWh}{PLN/(M \cdot a)}$	0,93	0,97
6	$k_{Ab} = a_0 + a_1 \cdot X_{12}$	6,14 (0,48)	0,0000014 (0,00000009)	$\frac{PLN/kWh}{szt.}$	0,93	1,12
7	$k_{Ab} = a_0 + a_1 \cdot X_{10}$	5,77 (0,72)	0,00092 (0,00009)	$\frac{PLN/kWh}{m\ln PLN}$	0,86	1,55
8	$k_{Ab} = a_0 + a_1 \cdot X_{11}$	9,02 (0,48)	0,000003 (0,0000003)	$\frac{PLN/kWh}{szt.}$	0,86	1,57
9	$k_{Ab} = a_0 + a_1 \cdot X_1$	-7,76 (2,27)	0,00081 (0,0001)	$\frac{PLN/kWh}{GWh/a}$	0,81	1,61
10	$k_{Ab} = a_0 + a_1 \cdot X_2$	-7,39 (2,30)	0,03058 (0,004)	$\frac{PLN/kWh}{kWh/(M \cdot a)}$	0,80	1,65
11	$k_{Ab} = a_0 + a_1 \cdot X_3$	-7,81 (2,31)	11,31 (1,31)	$\frac{PLN/kWh}{m\ln PLN/(M \cdot d)}$	0,80	1,65
12	$k_{Ab} = a_0 + a_1 \cdot X_8$	10,02 (0,56)	0,00181 (0,0003)	$\frac{PLN/kWh}{GWh/a}$	0,69	2,05

Tabela 4. Prognozowane wartości ekonomicznego równoważnika strat przymusowej bezczynności mieszkańca na terenie domu k_{Ab} w latach 2016-2025, obliczone na podstawie opracowanych modeli ekonometrycznych

Rok	Numer modelu ekonometrycznego											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	[PLN/kW·h]											
2016	19,56	19,33	19,59	19,68	19,26	19,08	17,18	17,46	18,80	18,85	18,18	20,91
2017	20,20	19,95	20,22	20,32	19,87	19,69	18,15	17,93	19,37	19,41	18,75	22,10
2018	20,84	20,58	20,86	20,97	20,48	20,30	19,20	18,40	19,95	19,98	19,33	23,35
2019	21,48	21,20	21,50	21,61	21,08	20,90	20,33	18,87	20,52	20,55	19,91	24,66
2020	22,12	21,83	22,13	22,25	21,69	21,51	21,56	19,34	21,09	21,12	20,49	26,03
2021	22,76	22,45	22,77	22,89	22,30	22,11	22,90	19,81	21,66	21,69	21,07	27,46
2022	23,39	23,07	23,40	23,53	22,90	22,72	24,35	20,28	22,23	22,26	21,64	28,94
2023	24,03	23,70	24,04	24,17	23,51	23,33	25,92	20,75	22,81	22,83	22,22	30,49
2024	24,67	24,32	24,67	24,81	24,12	23,93	27,63	21,22	23,38	23,40	22,80	32,10
2025	25,31	24,95	25,31	25,45	24,72	24,54	29,47	21,69	23,95	23,97	23,38	33,77

Podsumowanie

Podstawowym celem powyższego artykułu była analiza skutków gospodarczych niedostarczenia energii elektrycznej do odbiorców indywidualnych. Autorzy omówili teoretyczne aspekty szacowania strat u odbiorców energii, bazując na podstawach szacowania wielkości trudno wymiernych [2, 11].

Na podstawie zaprezentowanych metod, Autorzy wyznaczyli aktualne wartości takich współczynników jak: jednostkowe koszty strat przymusowej bezczynności mieszkańców k_{zby} w PLN/(h·M) oraz ekonomiczny równoważnik strat przymusowej bezczynności (strat marnotrawstwa czasu) mieszkańców, spowodowanych przerwami w dostawie energii elektrycznej w PLN/kW·h.

Wymagało to zgromadzenia obszernej informacji statystycznej.

Bazując na teorii ekonometrii Autorzy opracowali dwanaście modeli ekonomicznego równoważnika strat przymusowej bezczynności mieszkańców k_{Ab} , które umożliwiają jego wyznaczenie na podstawie znajomości powszechnie dostępnych danych statystycznych. W pierwszej fazie badań Autorzy wytypowali ponad sto zmiennych, które potencjalnie mogą wpływać na wartość wskaźnika k_{Ab} . Były to zarówno determinanty odnoszące się do uwarunkowań krajowych, jak i międzynarodowych. Ostatecznie opracowane modele bazują na dwunastu zmiennych statystycznych.

Otrzymane modele ekonometryczne cechują się dużą poprawnością, o czym świadczą niskie wartości standardowego błędu estymacji oraz wysokie wartości współczynnika determinacji. Oznacza to, że rzeczywiste wartości ekonomicznego równoważnika strat przymusowej bezczynności mieszkańca na terenie domu różnią się od wartości teoretycznych wyznaczonych z modeli o bardzo niewielkie wartości, natomiast zmienność przyjętych zmiennych objaśniających w znacznym stopniu tłumaczy zmienność współczynnika k_{Ab} . Dla najlepszego modelu współczynnik determinacji wyniósł 97%, a standardowy błąd estymacji 0,63 PLN/kWh.

Wartości parametrów wyznaczone na podstawie opracowanych modeli wykazują bardzo dużą zbieżność z danymi obliczonymi przy wykorzystaniu dotychczas stosowanych metod badawczych.

Na podstawie opracowanych modeli przeprowadzona została prognoza średniookresowa wartości ekonomicznego równoważnika strat przymusowej bezczynności mieszkańców na lata 2016-2025. Wartości prognozy otrzymane z wszystkich opracowanych modeli, bazujących na odmiennych danych statystycznych, są zbliżone. Maksymalny względny błąd prognozy, dla dziesięciu najlepszych modeli wyniósł 6,42%. Jedynie dla modelu 7 i 12, wartości błędów przekroczyły 10%. Tak małe błędy prognozy świadczą o bardzo dużej przydatności skonstruowanych modeli do prognozowania wartości ekonomicznego równoważnika strat przymusowej bezczynności mieszkańców.

Autorzy: mgr inż. Kornelia Banasik, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Zakład Podstaw Energetyki, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, e-mail: kornelia.banasik@op.pl, dr hab. inż. Andrzej Ł. Chojnacki, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Zakład Podstaw Energetyki, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, e-mail: a.chojnacki@tu.kielce.pl

LITERATURA

- [1] Agencja Rynku Energii S.A.: Statystyka Elektroenergetyki Polskiej 1995 - 2015, Warszawa, 1996 – 2016
- [2] Bojarski W., Bojarski N.: Wartościowanie czynników trudno wymiernych w gospodarce narodowej, ze szczególnym

uwzględnieniem strat czasu i życia ludzkiego. Prakseologia nr 1 rok 1975

- [3] Chojnacki A. Ł.: Analiza skutków gospodarczych niedostarczenia energii elektrycznej do odbiorców indywidualnych, Wiadomości elektrotechniczne 09/2009 s. 3-9
- [4] Chojnacki A. Ł.: Analiza niezawodności eksploatacyjnej elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2013
- [5] Główny Urząd Statystyczny: Rocznik Statystyczny Przemysłu 1995 - 2015, Warszawa, 1996-2016
- [6] Główny Urząd Statystyczny: Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 1995 - 2015, Warszawa, 1996-2016
- [7] <http://www.zset.pl/edu/node/26> - publikacja internetowa, dostęp z dn. 01.03.2017r.
- [8] <https://enerad.pl/rynek-energii/energia-jako-towar/> - publikacja internetowa, dostęp z dn. 01.03.2017r.
- [9] Kamrat W.: Zastosowanie procedur modelowania ekonometrycznego w procesach programowania i oceny efektywności inwestycji w elektroenergetyce. Przegląd elektrotechniczny Nr 7/2014, s. 108 – 114
- [10] Kott M.: Prognozowanie zużycia energii elektrycznej w gospodarstwach domowych. Przegląd elektrotechniczny Nr 4/2017, s. 30 – 33
- [11] Kowalski Z.: Niezawodność zasilania odbiorców energii elektrycznej, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1992 r.
- [12] Marzecki J.: Terenowe sieci elektroenergetyczne, Wydawnictwo Instytutu Technologii i Eksploatacji, Warszawa 2007 r.
- [13] Paska J.: Niezawodność systemów elektroenergetycznych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005 r.
- [14] PN-EN 50160:1998 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych
- [15] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 20 grudnia 2004 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, ruchu i eksploatacji tych sieci (Dz. U. 2005 Nr 2, poz. 6)
- [16] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz. U. Nr 93, poz. 623)
- [17] Sozański J.: Niezawodność zasilania energią elektryczną, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1982 r.
- [18] Wnukowska B., Wróblewski Z.: Modele ekonometryczne w badaniach gospodarki energetycznej. V Ogólnopolska Konferencja Naukowa Modelowanie i Symulacja MiS-5, Kościelisko 2008