

ASPEKT EKONOMICZNY WYKORZYSTANIA SAMOCHODÓW ELEKTRYCZNYCH I HYBRYDOWYCH JAKO MAGAZYNÓW ENERGII W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

Paweł Lasek¹

Komentarz profesora-opiekuna. Raport inż. Pawła Laska jest trzecim Raportem wykonanym w ramach Projektu dydaktycznego (tytuł Projektu: ENERGETYKA PROSUMENCKA w kontekście Modelu Interaktywnego Rynku Energii Elektrycznej), który został zrealizowany w ramach przedmiotu Energetyka rynkowa prowadzonego przez niżej podpisanego na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej na Kierunku Studiów Elektrotechnika, w roku ak. 2014/2015 (w semestrze letnim), na „równoległych” studiach stacjonarnych i niestacjonarnych. Raport ten, z obszaru transportu elektrycznego, dopełnia w szczególności tematykę dwóch pierwszych Raportów: inż. Szymona Fidewicza, poświęconego efektywności energetycznej (odzysk ciepła odpadowego w domu jednorodzinnym), i inż. Rafała Wichra, z obszaru rolnictwa energetycznego (biogazowa elektrownia bilansująca).

Wszystkie trzy Raporty dotyczą zatem obszarów przebudowy energetyki, które najtrudniej „przebijają” się do powszechnej świadomości (zwłaszcza zaś do świadomości środowisk zawodowych energetyki WEK) jako obszary o wielkim potencjale rozwojowym, a bez wątplenia są to obszary, które zmieniają strukturę energetyki WEK na zupełnie odmienną strukturę energetyki EP. W dodatku wszystkie trzy obszary są w Raportach rozpatrywane w powiązaniu z modelem rynku IREE, co ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia zmiany paradygmatu rozwoju energetyki, która następuje w trybie zderzenia z innowacją przełomową (transport elektryczny, efektywność energetyczna, rolnictwo energetyczne, wpisane w rynek IREE, zmieniają tradycyjny sposób funkcjonowania rynków energii/paliw, a zatem spełniają podstawowe kryterium innowacyjności przełomowej).

Inaczej patrząc jeszcze na Raporty można stwierdzić, że młode pokolenie inżynierów (jego potencjalna elita) jest zdolne podjąć współpracę z niezależnymi inwestorami (NI) – pretendentami do nowych rynków. Jest to bardzo obiecujący prognostyk z punktu widzenia przebudowy energetyki w Polsce (i w UE), gdzie bezrobocie wśród młodego pokolenia bije wszelkie rekordy i stało się już problemem strukturalnym. Podkreśla się przy tym, że wykorzystanie przebudowy energetyki (jako jednego z działań, wśród wielu innych) ma bardzo pożądane cechy na początku XXI wieku. W szczególności miejsca pracy tworzone w energetyce EP, odwrotnie niż w energetyce WEK, wzmacniają demokrację i prorynkową (prokonkurencyjną) gospodarkę. Mianowicie, nowe miejsca pracy w energetyce EP samoistnie będą się alokować równomiernie w kraju (w regionie), a więc będą pobudzać innowacyjność w sposób równomierny. Ponadto, są to miejsca pracy nisko-kapitałowe (niskonakładowe), czyli z niską barierą wejścia na rynek, co dla młodego pokolenia inżynierów zainteresowanych własną działalnością gospodarczą ma podstawowe znaczenie. (Odrębną sprawą jest dynamika interakcji na rynku IREE, zwłaszcza działania polskiego establishmentu korporacyjno-politycznego na rzecz zablokowania rozwoju energetyki EP. Jednak doświadczenia niemieckie pokazują, że na obecnym etapie przebudowy energetyki w UE, i na świecie, działania blokujące mogą mieć tylko doraźny destrukcyjny charakter, nie mają natomiast już żadnych podstaw fundamentalnych).

¹ inż. Paweł Lasek – student pierwszego semestru studiów drugiego stopnia (studia magisterskie) na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej, Kierunek Elektrotechnika, rok akademicki 2014/2015.

Pod względem merytorycznym na uwagę zasługuje przedstawiona w Raporcie inż. Laska wszechstronna analiza techniczno-ekonomiczna podjętego zagadnienia i „ostrożne” wnioskowanie. Oczywiście, wysoka ocena Raportu uwzględnia fakt, że zagadnienie jest całkowicie nowe. Zatem przyjęte założenia do analizy, jej struktura i wykorzystane dane wyjściowe są w dużym stopniu dyskusyjne (niewątpliwie, zagadnienie będzie przedmiotem ważnych i ciekawych badań w kolejnych latach konsolidowania się rynku IREE). Ale jedno jest pewne, Raport pokazuje w sposób przekonujący możliwości konsolidacji transportu elektrycznego z rynkiem IREE i przyspiesza tę konsolidację, a to jest najważniejszy cel biblioteki BŻEP.

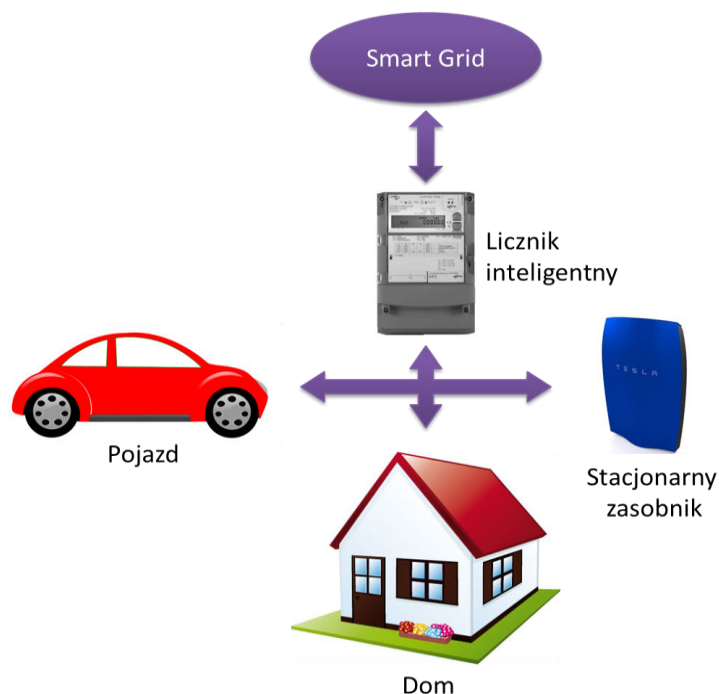
Jan Popczyk

Wprowadzenie

Samochody elektryczne i hybrydowe zdobywają w ostatnich latach co raz większą popularność, również w Polsce. Jest to spowodowane co raz to niższymi cenami takich pojazdów oraz zwiększającym się zasięgiem. Dodatkowo posiadacze takich samochodów mogą liczyć na dopłaty czy ulgi związane z użytkowaniem pojazdu na terenach miejskich.

Obecnie dostępne EV i PHEV wyposażone są w pakiety akumulatorów o dużej pojemności, a koszt przejechanych kilometrów jest znacznie mniejszy w porównaniu z samochodem z napędem tradycyjnym.

Celem raportu jest oszacowanie opłacalności użytkowania EV i PHEV w różnych modelach funkcjonowania pojazdu (w tym z dodatkowym stacjonarnym zasobnikiem energii), wykorzystując dostępny w pojazdach pakiet akumulatorów oraz ciepło odpadowe z silnika zasilanego benzyną.



Rys. 1. Diagram przedstawiający zależności między analizowanymi elementami układu

Też raportu jest stwierdzenie, że samochód elektryczny i hybrydowy może służyć nie tylko jako środek transportu, ale również może być potraktowany jako inwestycja poprzez integrację z SEE i pełnić istotną w nim rolę.

W zakresie raportu znalazła się analiza ekonomiczna opłacalności zakupu pojazdu elektrycznego i hybrydowego w kontekście samochodu z napędem konwencjonalnym. Wykonano obliczenia związane z ładowaniem pakietu baterii i oddawaniem energii do sieci w dobowym cyklu obciążenia. Koszty policzono w oparciu o stawki TAURON Dystrybucja S.A. [7] oraz „Ustawę o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015 roku” [6].

1. Założenia upraszczające

W tym rozdziale przedstawiono elementy wchodzące w skład wykonanej analizy. Ze względu na złożoność obliczeń wykonano szereg założeń upraszczających:

1. Dom nie jest wyposażony w odnawialne źródła energii (OZE).
2. Stały profil obciążenia dobowego w ciągu roku domu jednorodzinnego.
3. Stała cena odsprzedaży nadwyżki produkowanej energii elektrycznej, niezależna od taryfy – 0,75 zł netto.
4. Maksymalna moc jaką można zwracać do sieci wynosi 3 kW (ze względu na wyższą cenę odkupu energii przez dystrybutora [6]).
5. Samochód pokonuje rocznie 12 tys. km.
6. Stały wzrost cen paliw i energii - 3%/rok.
7. Stały spadek wartości pojazdów w ciągu roku (zależny od typu pojazdu).
8. Sprawność zasobnika - 85%.
9. Maksymalna głębokość rozładowania zasobnika - 80%.
10. Ulgi na „zielone pojazdy” w postaci zwolnienia z podatku VAT (23%) (obecnie nieistniejące przepisy w Polsce), przyjęte na potrzeby analizy.
11. Pojazdy nie są użytkowane w ramach działalności osób prawnych oraz nie są przez nie kupowane.
12. Obliczenia dokonywane są w okresie 10 lat, co jest szacunkową żywotnością baterii litowo - jonowych wykorzystywanych obecnie w pojazdach trakcyjnych.

Tab. 1. Zestawienie założonych wartości parametrów

Założenia ogólne	
Roczny dystans, km	12000
Dzienny dystans, km	32,88
Roczny wzrost cen energii	3%
Roczny wzrost cen paliw (Pb95)	3%
Cena odkupu energii przez dystrybutora (netto), zł/kWh	0,75
Stawka podatku VAT	23%

Ponieważ w „Ustawie o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015 roku” [6] nie przewidziano zasobników energii elektrycznej, przyjęto cenę energii elektrycznej oddawanej do sieci taką, jaka jest przewidziana dla źródeł solarnych (0,75 zł/kWh netto).

1.1. Wybór pojazdu

Do celów analizy wybrano 3 różne samochody, jeden z napędem konwencjonalnym (Renault Fluence Sedan 1.6 16V 110KM) oraz najpopularniejsze z pojazdów elektrycznych (Nissan Leaf) i hybrydowych (Toyota Prius Plug-in Hybrid). Dane zamieszczono w Tab. 2.

Tab. 2. Dane pojazdów wykorzystanych w przeprowadzonej analizie

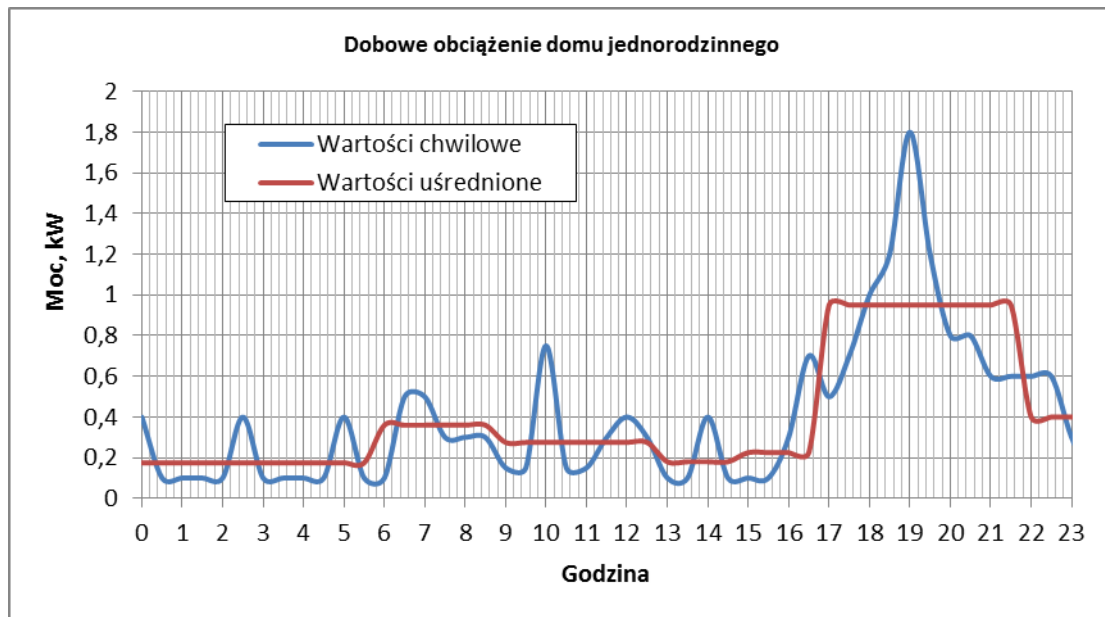
Pojazdy	ZI	EV	PHEV
	Renault Fluence Sedan 1.6 16V 110KM	Nissan Leaf	Toyota Prius Plug-in Hybrid
Cena (brutto), zł	60000	126000	144000
Roczny spadek wartości	3%	5%	3%
Ulga	0%	23%	23%
Cena zakupu, zł	60000	97020	110880
Spalanie, L/100km	8	0	2,1
Zużycie energii, kWh/100km	0	13	6
Pakiet, kWh	0	24	4,4
Głębokość rozładowania	0%	80%	80%
Energia użyteczna, kWh	0	19,2	3,52
Sprawność pakietu	0%	85%	85%
Cena paliwa, zł	4,9	-	4,9
Koszt jezdny (paliwo), zł/rok	4704	-	1234,8
Koszt jezdny (energia), zł/rok	-	wliczone w zużycie energii domu	wliczone w zużycie energii domu
Koszty dodatkowe, zł	-	5000	5000
Dopłata, zł	-	28980	33120
Wsp. jednoczesności k_j	0,0	0,7	0,7
Całkowita liczba samochodów	-	8500	27500
Liczba samochodów podłączonych do systemu	-	5950	19250
Suma dopłat, mln zł	-	24,63	91,08

Koszty dodatkowe wynikają z konieczności zakupu przekształtnika energoelektronicznego pozwalającego dostarczyć energię zmagazynowaną w akumulatorach samochodu do sieci oraz inteligentnego licznika energii elektrycznej [1]. Współczynnik jednoczesności k_j określa jaka część z dostępnych pojazdów bierze udział w generacji energii.

W celu oszacowania wpływu analizowanych samochodów na działanie systemu elektroenergetycznego przyjęto ilość samochodów elektrycznych i hybrydowych jaka była w Niemczech na koniec 2014 roku [13].

1.2. Dom jednorodzinny

Założono modelowy dom zamieszkiwany przez rodzinę 4 osobową, zużywającą rocznie 3400kWh energii elektrycznej. Na Rys. 2 przedstawiono dobowe zużycie energii odpowiadające ok. 9,5kWh/dzień. Ponieważ analiza będzie dokonywana w oparciu o różne taryfy - G11, G12, G13, wartości chwilowe zostały uśrednione w przedziałach aby uprościć dalszą analizę.



Rys. 2. Dobowy pobór energii przez dom jednorodzinny - 9,5kWh/dzień

1.3. Zasobnik energii

W obliczeniach dodatkowo uwzględniono wykorzystanie stacjonarnego zasobnika energii Tesla Powerwall [12].

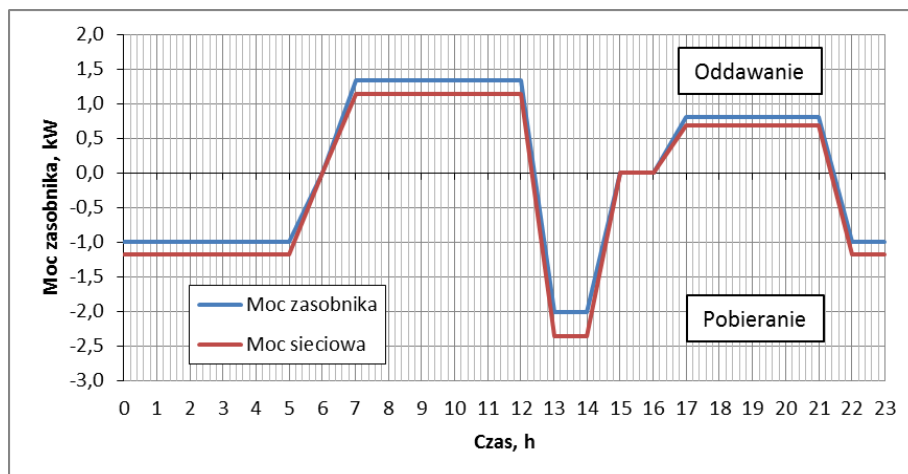
Tab. 3. Dane stacjonarnego zasobnika energii Tesla Powerwall

Zasobnik	
Cena, zł	12600
Pojemność, kWh	10
Głębokość rozładowania	80%
Energia użyteczna, kWh	8



Rys. 3. Stacjonarny zasobnik Tesla Powerwall

Pobór mocy przez zasobnik w cyklu dobowym zamieszczono na Rys. 4. Kolorem czerwonym zaznaczono moc pobieraną/oddawaną do sieci przez zasobnik niezbędną do uzyskania przebiegu mocy widzianej przez zasobnik po uwzględnieniu sprawności układu (kolor niebieski).



Rys. 4. Dobowy przebieg mocy stacjonarnego zasobnika energii Tesla Powerwall

1.4. Taryfy

Rozpatrywano funkcjonowanie domu z/bez zasobnika oraz z/bez samochodu wyposażonego w magazyn energii w oparciu o trzy taryfy dla domu jednorodzinnego - G11, G12, G13. Usługa świadczona jest przez TAURON Dystrybucja S.A. w powiecie będzińskim [7].

Stawki poszczególnych taryf zawarte zostały w Tab. 4.

Tab. 4. Stawki dla taryf G11, G12, G13 w powiecie będzińskim usługi świadczonej przez Tauron Dystrybucja S.A.

Grupa taryfowa	Składnik zmienny stawki sieciowej						Składnik stały stawki sieciowej		Stawka opłaty przejściowej	Stawka jakościowa	Stawka abonamentowa (za 1 miesiąc)
	Całodobowy	Dzienny/szczytowy	Nocny/Pozaszczytowy	Szczyt przedpołudniowy	Szczyt Popołudniowy	Pozostałe godziny doby	1-fazowy	3-fazowy			
	zł/MWh						Zł/kW/m-c		zł/MWh	Zł/kW/m-c	
G11	199,50						1,80	3,85	(*)	11,50	4,80
G12		202,60	42,20				4,24	6,80	(*)	11,50	4,80
G13				136,90	236,00	26,00	4,24	6,80	(*)	11,50	4,80

(*) – stawki opłaty przejściowej w zależności od rocznego poboru energii dla odbiorców z grupy taryfowej G:

- Poniżej 500 kWh – 0,25 zł/m-c.
- Od 500 kWh do 1200 kWh – 1,04 zł/m-c.
- Powyżej 1200 kWh – 3,29 zł/m-c.

1.5. Modele analizy

Opracowano trzy modele zastosowane w analizie:

- **Model 1** – samochód służy jedynie jako środek transportu. W pojazdach elektrycznych i hybrydowych dokonuje się uzupełnienia poziomu baterii w godzinach 22:00 – 6:00 wynikającego z energii zużytej na pokonanie drogi pomiędzy domem a miejscem pracy.
- **Model 2** – samochód służy jako środek transportu oraz jako zasobnik energii (tylko EV) lub jako generator mocy elektrycznej (tylko PHEV) w systemie elektroenergetycznym.
- **Model 3** – Samochód pełni taką samą funkcję jak w modelu 2, natomiast uwzględniono dodatkowo działanie stacjonarnego zasobnika energii magazynującego energię.

Strefa	8h					7h							2h	7h							8h			
Godzina	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Pojazd w modelu 1	8h					16h																	8h	
Pojazd w modelu 2	8h					10h										6h						8h		
Zasobnik	8h					7h							2h	7h							8h			
Pojazd i zasobnik w modelu 3	8h					7h							2h	7h							8h			

	Pozostałe godziny doby
	Szczyt przedpołudniowy
	Szczyt popołudniowy
	Okres poboru energii przez pojazd/zasobnik
	Okres bez poboru energii przez pojazd/zasobnik
	Okres oddawania nadwyżki energii przez pojazd (EV z pakietu, PHEV jako generator)/zasobnik

Rys. 5. Zobrazowanie godzin poboru i oddawania energii do sieci w przyjętych modelach

Przyjęto, że samochód nie będzie oddawał ani pobierał energii do sieci między 6:00 a 16:00 (godziny pracy właściciela samochodu), ponieważ trudno ocenić w jakich sposób właściciel stacji ładowania (np. pracodawca właściciela samochodu) miałby się rozliczać z właścicielem pojazdu z tego tytułu.

1.6. Koszty dodatkowe

Uwzględniono dodatkowe koszty związane są z koniecznością zainstalowania falownika dostarczającego energię elektryczną z samochodu do sieci oraz inteligentnego licznika energii elektrycznej.

2. Obliczenia

2.1. Wzory

2.1.1. Koszt energii naliczany przez dystrybutora

Opłata za usługę dystrybucji energii elektrycznej [7]:

$$d_{px} = O_{poi} = S_{svn} \cdot P_i + \sum_{m=1}^R S_{zvn} \cdot E_{oim} + S_{osj} \cdot E_{ok} + S_{op} \cdot P_i + O_a \quad (1)$$

O_{poi} - opłata za świadczenie usługi dystrybucji obliczona dla danego odbiorcy, w zł;

S_{svn} - składnik stały stawki sieciowej, w zł/kW/m-c; dla odbiorców energii elektrycznej z grup taryfowych G, w zł/miesiąc;

P_i - moc umowna określona dla danego odbiorcy, w kW; dla odbiorców energii elektrycznej z grup taryfowych G, liczba miesięcy;

R - liczba stref czasowych;

S_{zVn} - składnik zmienny stawki sieciowej, w zł/MWh lub zł/kWh;

E_{oim} - ilość energii pobieranej z sieci przez odbiorcę w MWh lub kWh;

S_{oSJ} - stawka jakościowa, w zł/MWh lub zł/kWh;

E_{ok} - ilość energii pobieranej z sieci przez odbiorcę oraz innych odbiorców przyłączonych do jego sieci korzystających z krajowego systemu elektroenergetycznego, w MWh lub kWh;

S_{op} - stawka opłaty przejściowej, w zł/kW/miesiąc;

O_a - opłata abonamentowa, w zł.

2.1.2. Koszt zużycia energii w domu

Wzór uwzględnia wzrost cen energii w kolejnych latach oraz niezmienność cen za jakie dystrybutor będzie kupował nadwyżkę energii generowanej przez dom.

$$d_{nx} = d_{px} \cdot \left(1 + \frac{s_{dx}}{100}\right)^n + d_o \quad (2)$$

gdzie:

n - liczba lat (1, 2, 3, ...),

d_{nx} - koszt zużycia energii n -tym roku w zł,

d_{px} - roczny koszt zużycia energii w zł/rok,

s_{dx} - roczny wzrost cen energii w procentach,

d_o - roczny zysk z oddawania energii w zł/rok.

2.1.3. Koszt paliwa

Wzór na koszt paliwa uwzględnia wzrost cen paliwa w latach.

$$p_{nx} = p_{px} \cdot \left(1 + \frac{s_{px}}{100}\right)^n \quad (3)$$

gdzie:

n - liczba lat (1, 2, 3, ...),

p_{nx} - koszt paliwa w n -tym roku w zł,

p_{px} - roczny koszt paliwa w zł/rok,

s_{px} - roczny wzrost cen paliwa w procentach.

2.1.4. Spadek wartości samochodu

Wzór (4) pozwala obliczyć o ile wartość samochodu spadła względem wartości pierwotnej pojazdu w kolejnych latach.

$$c_{nx} = c_{px} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{s_{cx}}{100} \right)^n \right] \quad (4)$$

gdzie:

n - liczba lat (1, 2, 3, ...),

c_{nx} - wartość samochodu w n -tym roku w zł,

c_{px} - wartość początkowa samochodu w zł,

s_{cx} - roczny spadek wartości samochodu w procentach.

2.1.5. Skumulowany koszt użytkowania pojazdu oraz zużycia energii elektrycznej w domu

$$k_{nx} = c_z + c_{px} + c_{nx} + \sum_{i=0}^n (d_{ix} + p_{ix}) \quad (5)$$

gdzie:

n - liczba lat (1, 2, 3, ...),

k_{nx} - skumulowany koszt po n latach w zł,

c_z - koszt zasobnika w zł,

c_{px} - koszt początkowy samochodu w zł,

c_{nx} - spadek wartości samochodu po n latach w zł,

d_{ix} - roczny koszt zużycia energii w i -tym roku w zł,

p_{ix} - koszt paliwa do napędu samochodu po i -tym roku w zł.

2.2. Opłaty za dom i samochód w taryfie G11

Na podstawie danych zawartych w Tab. 2, Tab. 3, Tab. 4 oraz dobowego cyklu obciążenia domu Rys. 2 wykonano oszacowanie rocznych kosztów użytkowania energii elektrycznej ze wzoru (1) i samochodu uwzględniając przyjęte modele analizy.

Tab. 5. Zestawienie rocznego kosztu użytkowania pojazdu oraz kosztu energii elektrycznej domu jednorodzinnego w taryfie G11

	Model 1 - ZI/G11	Model 1 - EV/G11	Model 2 - EV/G11	Model 3 - EV/G11	Model 1 - PHEV/G11	Model 2 - PHEV/G11	Model 3 - PHEV/G11
Roczne zużycie energii, kWh	3452,40	5262,55	7025,49	8435,85	4299,46	2616,46	5039,05
Roczny koszt wynikający z poboru energii, zł	1019,63	2092,67	344,70	397,13	1845,26	234,16	296,50
Roczny uzysk wynikający z oddawania energii, zł	0,00	0,00	-1663,20	-3405,40	0,00	0,00	-1019,75
Roczny bilans kosztów energii, zł	1019,63	2092,67	-1318,50	-3008,27	1845,26	234,16	-723,25
Roczny koszt paliwa, zł	4704,00	0,00	0,00	0,00	1234,80	4867,95	990,86

Tab. 6. Koszt użytkowania energii elektrycznej domu jednorodzinnego oraz samochodu z napędem konwencjonalnym dla taryfy G11

		Model 1 - ZI/G11		
n	c _n	p _{nx}	d _{nx}	k _{sn}
rok	zł	zł/rok	zł/rok	zł
0	0,00	0,00	0,00	60000,00
1	1800,00	4845,12	1050,22	67695,34
2	3546,00	4990,47	1081,73	75513,54
3	5239,62	5140,19	1114,18	83461,53
4	6882,43	5294,39	1147,60	91546,34
5	8475,96	5453,23	1182,03	99775,12
6	10021,68	5616,82	1217,49	108155,16
7	11521,03	5785,33	1254,02	116693,85
8	12975,40	5958,89	1291,64	125398,74
9	14386,14	6137,65	1330,39	134277,52
10	15754,55	6321,78	1370,30	143338,02

Tab. 7. Koszt użytkowania energii elektrycznej domu jednorodzinnego oraz samochodu z napędem elektrycznym dla taryfy G11

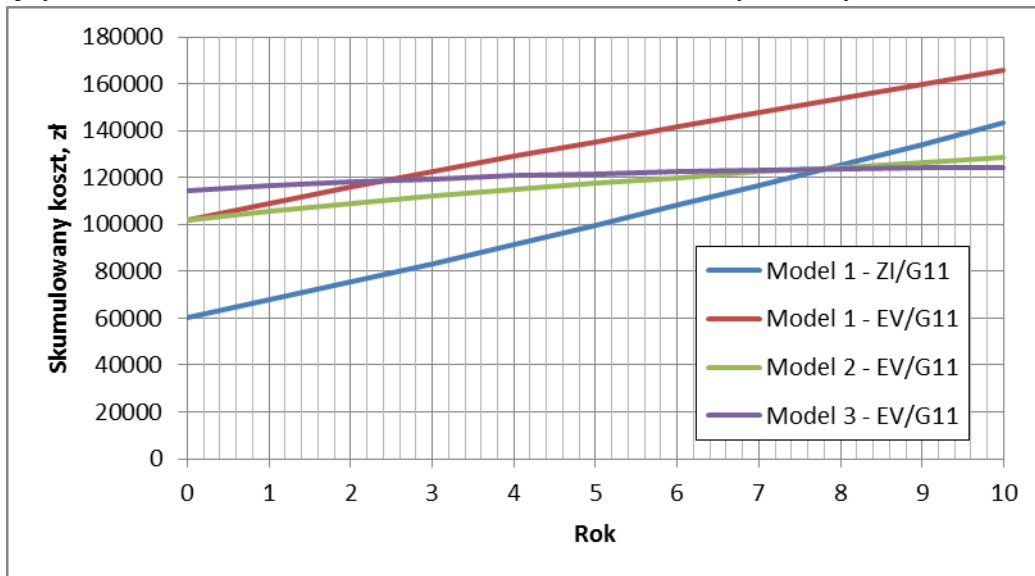
		Model 1 - EV/G11		Model 2 - EV/G11		Model 3 - EV/G11	
n	c _n	d _{nx}	k _{sn}	d _{nx}	k _{sn}	d _{nx}	k _{sn}
rok	zł	zł/rok	zł	zł/rok	zł	zł/rok	zł
0	0,00	0,00	102020,00	0,00	102020,00	0,00	114620,00
1	4851,00	2155,45	109026,45	-1308,16	105562,84	-2996,35	116474,65
2	9459,45	2220,11	115855,00	-1297,50	108873,79	-2984,08	118099,01
3	13837,48	2286,71	122519,74	-1286,53	111965,28	-2971,44	119505,60
4	17996,60	2355,31	129034,18	-1275,23	114849,17	-2958,42	120706,30
5	21947,77	2425,97	135411,33	-1263,60	117536,75	-2945,02	121712,45
6	25701,38	2498,75	141663,69	-1251,61	120038,75	-2931,20	122534,86
7	29267,32	2573,71	147803,33	-1239,26	122365,42	-2916,98	123183,81
8	32654,95	2650,93	153841,89	-1226,54	124526,52	-2902,32	123669,12
9	35873,20	2730,45	159790,60	-1213,44	126531,33	-2887,23	124000,14
10	38930,54	2812,37	165660,31	-1199,95	128388,72	-2871,69	124185,80

Tab. 8. Koszt użytkowania energii elektrycznej domu jednorodzinnego oraz samochodu z napędem hybrydowym dla taryfy G11

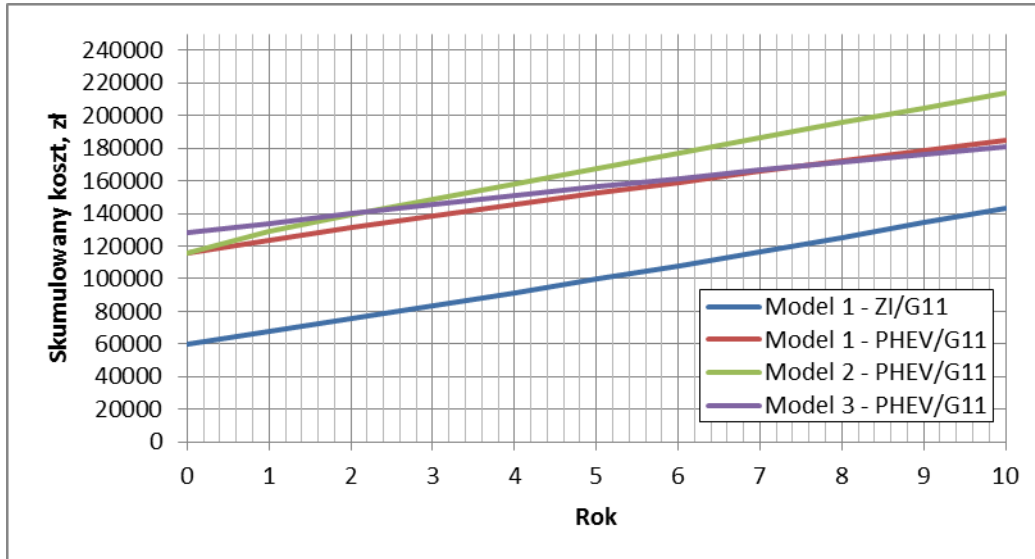
		Model 1 - PHEV/G11			Model 2 - PHEV/G11			Model 3 - PHEV/G11		
n	c _n	p _{nx}	d _{nx}	k _{sn}	p _{nx}	d _{nx}	k _{sn}	p _{nx}	d _{nx}	k _{sn}
rok	zł	zł/rok	zł/rok	zł	zł/rok	zł/rok	zł	zł/rok	zł/rok	zł
0	0,00	0,00	0,00	115880,00	0,00	0,00	115880,00	0,00	0,00	128480,00
1	5544,00	259,56	1900,62	123584,18	4001,70	256,77	129424,62	1280,14	-714,36	134134,99
2	10810,80	267,35	1957,64	131075,96	4121,75	264,01	139189,45	1318,55	-705,20	140032,09
3	15814,26	275,37	2016,37	138371,16	4245,41	271,46	148825,41	1358,11	-695,76	145715,35
4	20567,55	283,63	2076,86	145484,93	4372,77	279,14	158349,71	1398,85	-686,04	151199,43
5	25083,17	292,14	2139,16	152431,85	4503,95	287,04	167779,00	1440,81	-676,03	156498,36
6	29373,01	300,90	2203,34	159225,93	4639,07	295,19	177129,46	1484,04	-665,72	161625,60
7	33448,36	309,93	2269,44	165880,65	4778,24	303,58	186416,77	1528,56	-655,10	166594,06
8	37319,94	319,23	2337,52	172408,98	4921,59	312,22	195656,21	1574,42	-644,16	171416,14
9	40997,95	328,80	2407,65	178823,43	5069,24	321,11	204862,63	1621,65	-632,89	176103,74
10	44492,05	338,67	2479,88	185136,08	5221,31	330,28	214050,54	1670,30	-621,28	180668,33

Na podstawie danych zawartych w Tab. 5 obliczono skumulowany koszt użytkowania pojazdu oraz zużycia energii elektrycznej w domu jednorodzinnym. Efekty obliczeń z wykorzystaniem wzorów (2), (3), (4), (5) zamieszczono w poniższych tabelach.

Skumulowany koszt użytkowania samochodu oraz zużycia energii elektrycznej w kolejnych latach z Tab. 6, Tab. 7, Tab. 8 zamieszczono na Rys. 6 i Rys. 7.



Rys. 6. Skumulowany koszt użytkowania w kolejnych latach samochodu z napędem tradycyjnym i trzech modeli użytkowania samochodu elektrycznego w taryfie G11



Rys. 7. Skumulowany koszt użytkowania w kolejnych latach samochodu z napędem tradycyjnym i trzech modeli użytkowania samochodu hybrydowego w taryfie G11

2.3. Opłaty za dom i samochód w taryfie G12

Na podstawie danych zawartych w Tab. 2, Tab. 3, Tab. 4 oraz dobowego cyklu obciążenia domu Rys. 2 wykonano oszacowanie rocznych kosztów użytkowania energii elektrycznej ze wzoru (1) i samochodu uwzględniając przyjęte modele analizy.

Tab. 9. Zestawienie rocznego kosztu użytkowania pojazdu oraz kosztu energii elektrycznej domu jednorodzinnego w taryfie G12

	Model 1 - ZI/G12	Model 1 - EV/G12	Model 2 - EV/G12	Model 3 - EV/G12	Model 1 - PHEV/G12	Model 2 - PHEV/G12	Model 3 - PHEV/G12
Roczne zużycie energii, kWh	3452,40	5262,55	7025,49	8435,85	4299,46	2616,46	5039,05
Roczny koszt wynikający z poboru energii, zł	925,06	1627,82	287,04	306,61	1566,76	223,67	254,52
Roczny uzysk wynikający z oddawania energii, zł	0,00	0,00	-1663,20	-3405,40	0,00	0,00	-1019,75
Roczny bilans kosztów energii, zł	925,06	1627,82	-1376,16	-3098,80	1566,76	223,67	-765,23
Roczny koszt paliwa, zł	4704,00	0,00	0,00	0,00	1234,80	4867,95	990,86

Na podstawie danych zawartych w Tab. 9 obliczono skumulowany koszt użytkowania pojazdu oraz zużycia energii elektrycznej w domu jednorodzinym. Efekty obliczeń z wykorzystaniem wzorów (2), (3), (4), (5) zamieszczono w poniższych tabelach.

Tab. 10. Koszt użytkowania energii elektrycznej domu jednorodzinnego oraz samochodu z napędem konwencjonalnym dla taryfy G12

n	c _n	Model 1 - ZI/G12		
		p _{nx}	d _{nx}	k _{sn}
rok	zł	zł/rok	zł/rok	zł
0	0,00	0,00	0,00	60000,00
1	1800,00	4845,12	952,81	67597,93
2	3546,00	4990,47	981,40	75315,80
3	5239,62	5140,19	1010,84	83160,44
4	6882,43	5294,39	1041,16	91138,81
5	8475,96	5453,23	1072,40	99257,96
6	10021,68	5616,82	1104,57	107525,07
7	11521,03	5785,33	1137,71	115947,46
8	12975,40	5958,89	1171,84	124532,55
9	14386,14	6137,65	1206,99	133287,93
10	15754,55	6321,78	1243,20	142221,33

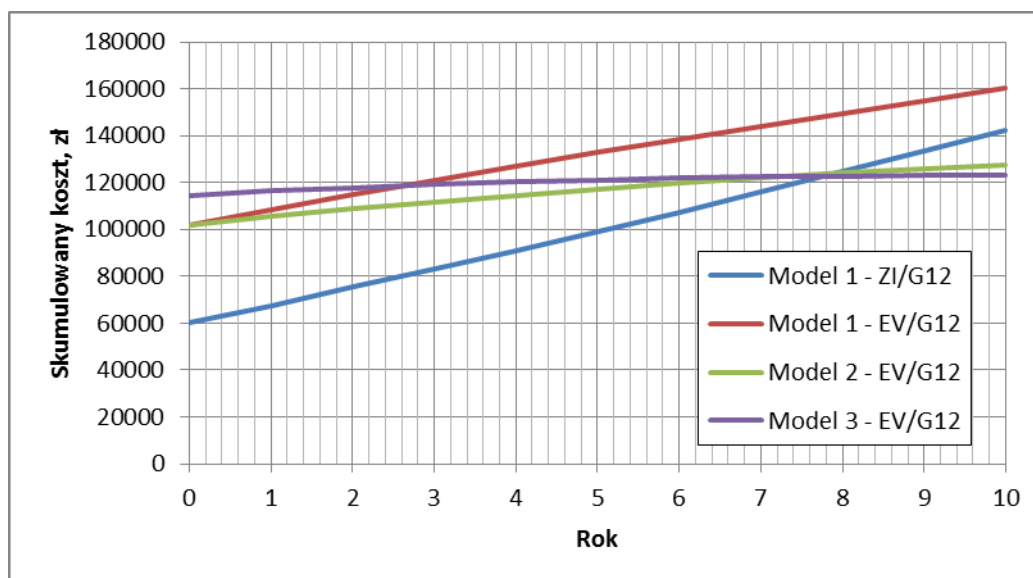
Tab. 11. Koszt użytkowania energii elektrycznej domu jednorodzinnego oraz samochodu z napędem elektrycznym dla taryfy G12

n	c _n	Model 1 - EV/G12		Model 2 - EV/G12		Model 3 - EV/G12	
		d _{nx}	k _{sn}	d _{nx}	k _{sn}	d _{nx}	k _{sn}
rok	zł	zł/rok	zł	zł/rok	zł	zł/rok	zł
0	0,00	0,00	102020,00	0,00	102020,00	0,00	114620,00
1	4851,00	1676,66	108547,66	-1367,55	105503,45	-3089,60	116381,40
2	9459,45	1726,96	114883,06	-1358,68	108753,21	-3080,12	117909,73
3	13837,48	1778,77	121039,86	-1349,55	111781,69	-3070,37	119217,39
4	17996,60	1832,13	127031,11	-1340,14	114600,68	-3060,31	120316,20
5	21947,77	1887,09	132869,37	-1330,45	117221,40	-3049,96	121217,41
6	25701,38	1943,71	138566,69	-1320,46	119654,55	-3039,30	121931,72
7	29267,32	2002,02	144134,64	-1310,18	121910,30	-3028,32	122469,34
8	32654,95	2062,08	149584,35	-1299,59	123998,34	-3017,00	122839,97
9	35873,20	2123,94	154926,54	-1288,68	125927,91	-3005,35	123052,87
10	38930,54	2187,66	160171,54	-1277,45	127707,80	-2993,35	123116,86

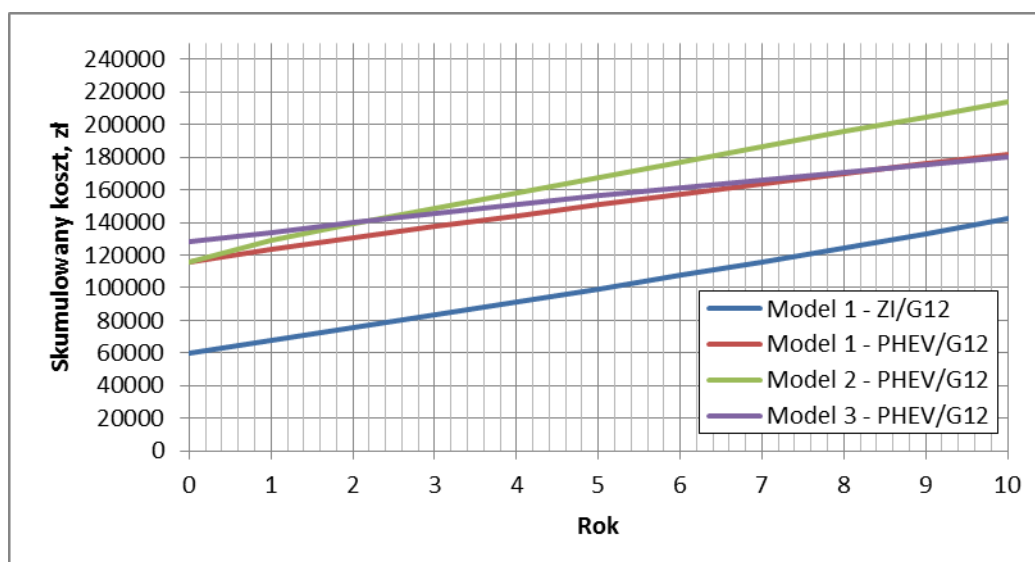
Tab. 12. Koszt użytkowania energii elektrycznej domu jednorodzinnego oraz samochodu z napędem hybrydowym dla taryfy G12

n	c _n	Model 1 - PHEV/G12			Model 2 - PHEV/G12			Model 3 - PHEV/G12		
		p _{nx}	d _{nx}	k _{sn}	p _{nx}	d _{nx}	k _{sn}	p _{nx}	d _{nx}	k _{sn}
rok	zł	zł/rok	zł/rok	zł	zł/rok	zł/rok	zł	zł/rok	zł/rok	zł
0	0,00	0,00	0,00	115880,00	0,00	0,00	115880,00	0,00	0,00	128480,00
1	5544,00	259,56	1613,76	123297,32	4001,70	245,98	129413,82	1280,14	-757,60	134048,51
2	10810,80	267,35	1662,17	130493,64	4121,75	252,89	139167,53	1318,55	-749,73	139899,78
3	15814,26	275,37	1712,04	137484,50	4245,41	260,01	148792,03	1358,11	-741,63	145535,84
4	20567,55	283,63	1763,40	144284,82	4372,77	267,34	158304,53	1398,85	-733,29	150971,29
5	25083,17	292,14	1816,30	150908,88	4503,95	274,89	167721,67	1440,81	-724,69	156220,13
6	29373,01	300,90	1870,79	157370,41	4639,07	282,67	177059,61	1484,04	-715,84	161295,79
7	33448,36	309,93	1926,91	163682,60	4778,24	290,68	186334,03	1528,56	-706,72	166211,12
8	37319,94	319,23	1984,72	169858,13	4921,59	298,94	195560,18	1574,42	-697,33	170978,47
9	40997,95	328,80	2044,26	175909,19	5069,24	307,44	204752,93	1621,65	-687,66	175609,71
10	44492,05	338,67	2105,59	181847,55	5221,31	316,19	213926,75	1670,30	-677,70	180116,24

Skumulowany koszt użytkowania samochodu oraz zużycia energii elektrycznej w kolejnych latach z Tab. 10, Tab. 11, Tab. 12 zamieszczono na Rys. 8 i Rys. 9.



Rys. 8. Skumulowany koszt użytkowania w kolejnych latach samochodu z napędem tradycyjnym i trzech modeli użytkowania samochodu elektrycznego w taryfie G12



Rys. 9. Skumulowany koszt użytkowania w kolejnych latach samochodu z napędem tradycyjnym i trzech modeli użytkowania samochodu hybrydowego w taryfie G12

2.4. Opłaty za dom i samochód w taryfie G13

Na podstawie danych zawartych w Tab. 2, Tab. 3, Tab. 4 oraz dobowego cyklu obciążenia domu Rys. 2 wykonano oszacowanie rocznych kosztów użytkowania energii elektrycznej ze wzoru (1) i samochodu uwzględniając przyjęte modele analizy.

Tab. 13. Zestawienie rocznego kosztu użytkowania pojazdu oraz kosztu energii elektrycznej domu jednorodzinny w taryfie G13

	Model 1 - ZI/G13	Model 1 - EV/G13	Model 2 - EV/G13	Model 3 - EV/G13	Model 1 - PHEV/G13	Model 2 - PHEV/G13	Model 3 - PHEV/G13
Roczne zużycie energii, kWh	3452,40	5262,55	7025,49	8435,85	4299,46	2616,46	5039,05
Roczny koszt wynikający z poboru energii, zł	922,69	1515,81	279,08	297,04	1473,93	220,58	249,95
Roczny uzysk wynikający z oddawania energii, zł	0,00	0,00	-1663,20	-3405,40	0,00	0,00	-1019,75
Roczny bilans kosztów energii, zł	922,69	1515,81	-1384,12	-3108,36	1473,93	220,58	-769,80
Roczny koszt paliwa, zł	4704,00	0,00	0,00	0,00	1234,80	4867,95	990,86

Na podstawie danych zawartych w Tab. 13 obliczono skumulowany koszt użytkowania pojazdu oraz zużycia energii elektrycznej w domu jednorodzinny. Efekty obliczeń z wykorzystaniem wzorów (2), (3), (4), (5) zamieszczono w poniższych tabelach.

Tab. 14. Koszt użytkowania energii elektrycznej domu jednorodzinnego oraz samochodu z napędem konwencjonalnym dla taryfy G13

		Model 1 - ZI/G13		
n	c _n	p _{nx}	d _{nx}	k _{sn}
rok	zł	zł/rok	zł/rok	zł
0	0,00	0,00	0,00	60000,00
1	1800,00	4845,12	950,37	67595,49
2	3546,00	4990,47	978,88	75310,85
3	5239,62	5140,19	1008,25	83152,91
4	6882,43	5294,39	1038,50	91128,61
5	8475,96	5453,23	1069,65	99245,01
6	10021,68	5616,82	1101,74	107509,30
7	11521,03	5785,33	1134,79	115928,77
8	12975,40	5958,89	1168,84	124510,86
9	14386,14	6137,65	1203,90	133263,15
10	15754,55	6321,78	1240,02	142193,37

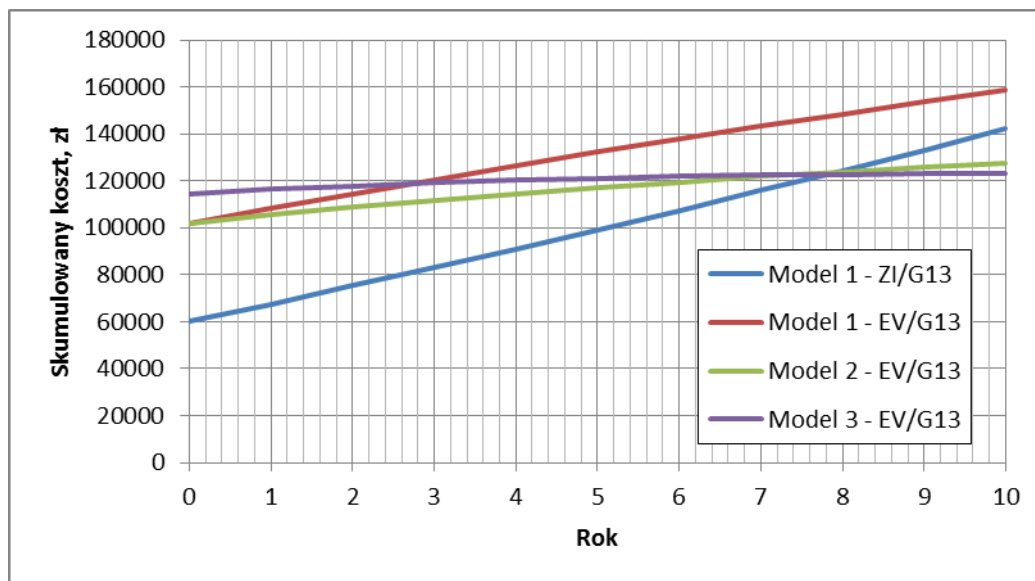
Tab. 15. Koszt użytkowania energii elektrycznej domu jednorodzinnego oraz samochodu z napędem elektrycznym dla taryfy G13

		Model 1 - EV/G13		Model 2 - EV/G13		Model 3 - EV/G13	
n	c _n	d _{nx}	k _{sn}	d _{nx}	k _{sn}	d _{nx}	k _{sn}
rok	zł	zł/rok	zł	zł/rok	zł	zł/rok	zł
0	0,00	0,00	102020,00	0,00	102020,00	0,00	114620,00
1	4851,00	1561,28	108432,28	-1375,75	105495,25	-3099,45	116371,55
2	9459,45	1608,12	114648,85	-1367,12	108736,58	-3090,27	117889,73
3	13837,48	1656,36	120683,24	-1358,24	111756,37	-3080,82	119186,94
4	17996,60	1706,05	126548,42	-1349,09	114566,41	-3071,08	120274,99
5	21947,77	1757,24	132256,83	-1339,67	117177,91	-3061,05	121165,11
6	25701,38	1809,95	137820,39	-1329,96	119601,56	-3050,72	121868,00
7	29267,32	1864,25	143250,58	-1319,96	121847,52	-3040,08	122393,85
8	32654,95	1920,18	148558,39	-1309,67	123925,49	-3029,12	122752,37
9	35873,20	1977,78	153754,43	-1299,06	125844,68	-3017,83	122952,79
10	38930,54	2037,12	158848,89	-1288,14	127613,88	-3006,20	123003,92

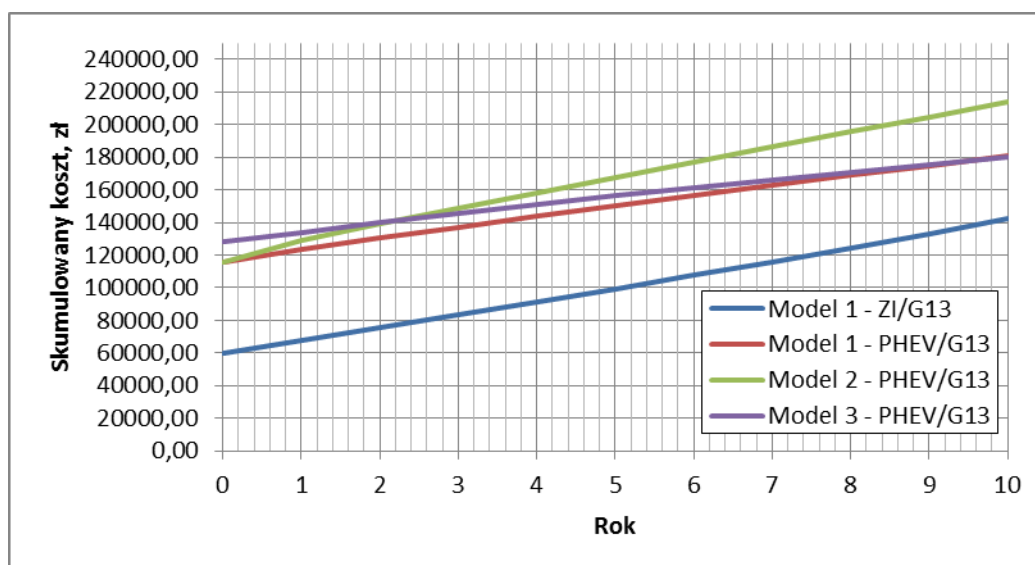
Tab. 16. Koszt użytkowania energii elektrycznej domu jednorodzinnego oraz samochodu z napędem hybrydowym dla taryfy G13

		Model 1 - PHEV/G13			Model 2 - PHEV/G13			Model 3 - PHEV/G13		
N	c _n	p _{nx}	d _{nx}	k _{sn}	p _{nx}	d _{nx}	k _{sn}	p _{nx}	d _{nx}	k _{sn}
rok	zł	zł/rok	zł/rok	zł	zł/rok	zł/rok	zł	zł/rok	zł/rok	zł
0	0,00	0,00	0,00	115880,00	0,00	0,00	115880,00	0,00	0,00	128480,00
1	5544,00	259,56	1518,15	123201,71	4001,70	242,79	129410,64	1280,14	-762,30	134039,11
2	10810,80	267,35	1563,69	130299,55	4121,75	249,60	139161,06	1318,55	-754,57	139885,39
3	15814,26	275,37	1610,61	137188,98	4245,41	256,63	148782,18	1358,11	-746,62	145516,32
4	20567,55	283,63	1658,92	143884,82	4372,77	263,86	158291,20	1398,85	-738,42	150946,48
5	25083,17	292,14	1708,69	150401,27	4503,95	271,30	167704,75	1440,81	-729,99	156189,88
6	29373,01	300,90	1759,95	156751,97	4639,07	278,98	177038,99	1484,04	-721,29	161259,93
7	33448,36	309,93	1812,75	162950,00	4778,24	286,88	186309,61	1528,56	-712,34	166169,48
8	37319,94	319,23	1867,13	169007,94	4921,59	295,02	195531,84	1574,42	-703,12	170930,88
9	40997,95	328,80	1923,15	174937,89	5069,24	303,40	204720,55	1621,65	-693,62	175555,99
10	44492,05	338,67	1980,84	180751,50	5221,31	312,03	213890,22	1670,30	-683,83	180056,21

Skumulowany koszt użytkowania samochodu oraz zużycia energii elektrycznej w kolejnych latach z Tab. 14, Tab. 15, Tab. 16 zamieszczono na Rys. 10 i Rys. 11



Rys. 10. Skumulowany koszt użytkowania w kolejnych latach samochodu z napędem tradycyjnym i trzech modeli użytkowania samochodu elektrycznego w taryfie G13



Rys. 11. Skumulowany koszt użytkowania w kolejnych latach samochodu z napędem tradycyjnym i trzech modeli użytkowania samochodu hybrydowego w taryfie G13

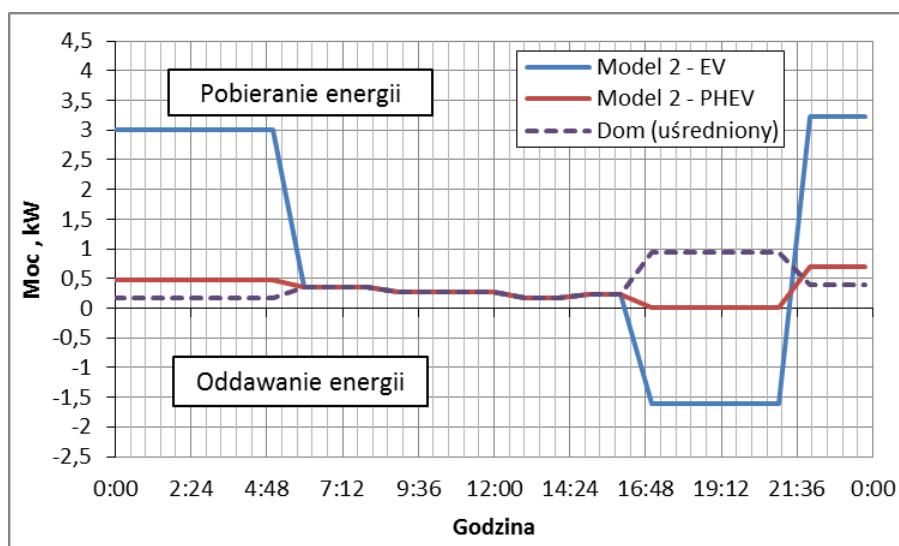
3. Wpływ modeli na system elektroenergetyczny

3.1. Zasobnik w domu jednorodzinny

Biorąc pod uwagę dobowy uśredniony przebieg zapotrzebowania na moc domu jednorodzinny z Rys. 2 oraz analizowane modele korzystania z pojazdów i zasobnika wyznaczono dobowe przebiegi poboru i oddawania energii elektrycznej.

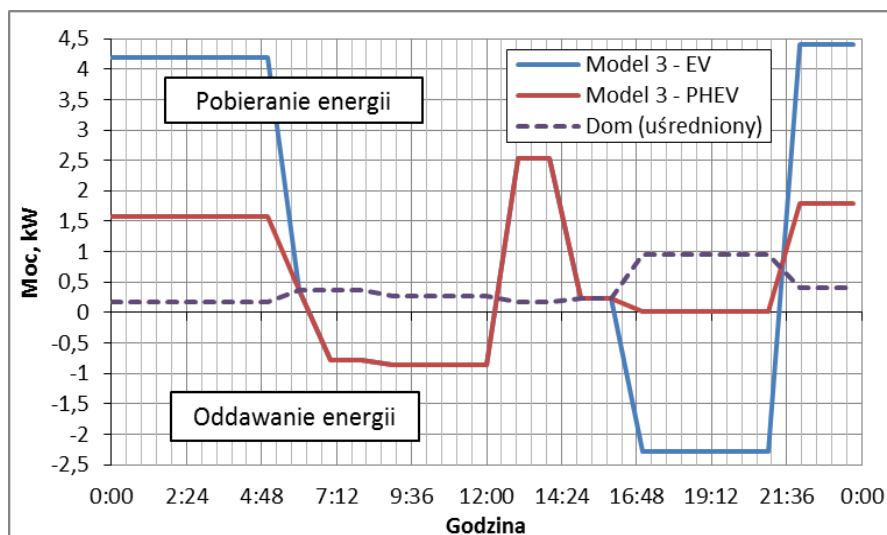
Przebieg mocy umieszczony na Rys. 12 pokazuje, że jedynie w godzinach 16:00 – 6:00 może dochodzić do bilansowania energii elektrycznej podczas zarządzania wirtualną wyspą

(WW) przez Operatora Handlowo-Technicznego (OHT). Wynika to z przewidywanych godzin obecności zasobnika (pojazdu) w obrębie domu.



Rys. 12. Pobór i oddawanie energii elektrycznej widzianej przez licznik domu jednorodzinnego z EV i PHEV na tle przyjętego uśrednionego przebiegu obciążenia domu w analizowanym modelu 2

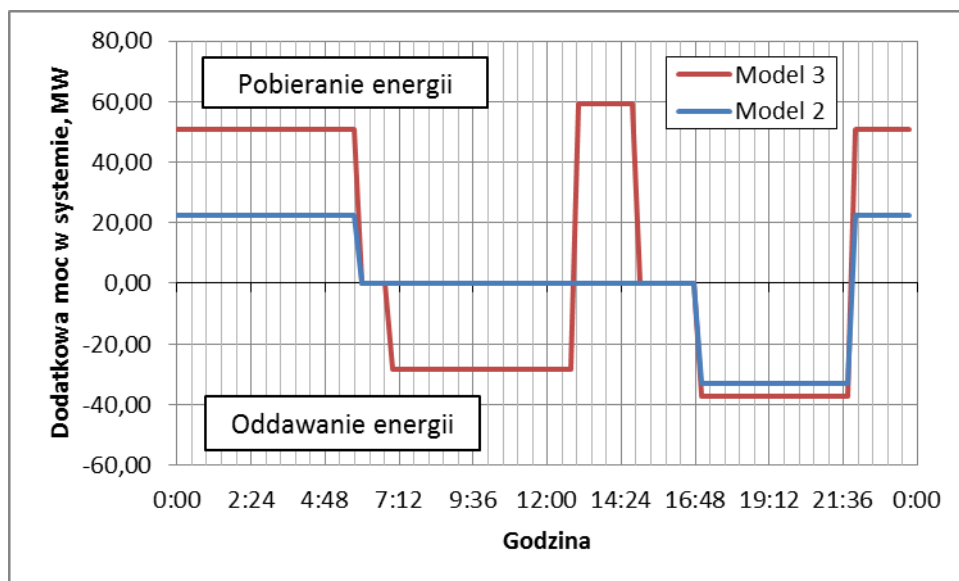
Dobowe zapotrzebowanie na moc wyznaczone na Rys. 13 pokazuje, że możliwym jest zarządzanie poborem energii przez całą dobę. Spowodowane jest to obecnością stacjonarnego zasobnika energii.



Rys. 13. Pobór i oddawanie energii elektrycznej widzianej przez licznik domu jednorodzinnego z EV i PHEV na tle przyjętego uśrednionego przebiegu obciążenia domu w analizowanym modelu 3

3.2. Wpływ na system elektroenergetyczny

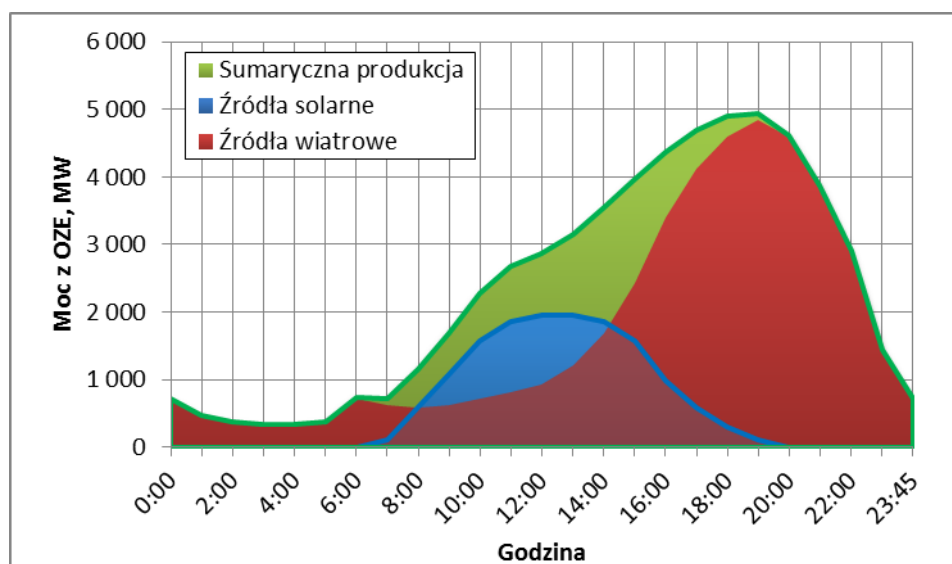
Uwzględniając przyjętą liczbę samochodów elektrycznych i hybrydowych jakie biorą udział w pobieraniu i oddawaniu energii w tym samym czasie zawarte w Tab. 1 oraz godziny w których ma to miejsce (Rys. 5) wyznaczono wpływ na system elektroenergetyczny w modelu 2 (bez zasobnika) i modelu 3 (z zasobnikiem) i zamieszczono na Rys. 14.



Rys. 14. Oszacowana dodatkowa moc w systemie elektroenergetycznym uwzględniając analizowany model 2 i model 3

3.3. Taryfa dynamiczna a dom jednorodzinny

Dalsza analiza polega na oszacowaniu wpływu taryfy dynamicznej (TD) na przyjęte modele funkcjonowania mobilnych i stacjonarnych zasobników energii. Wpływ ten jest analizowany poprzez wyznaczenie założonego profilu produkcji energii przez źródła odnawialne (OZE) – fotowoltaiczne oraz wiatrowe. Produkcja energii z tych źródeł zależy od warunków atmosferycznych.

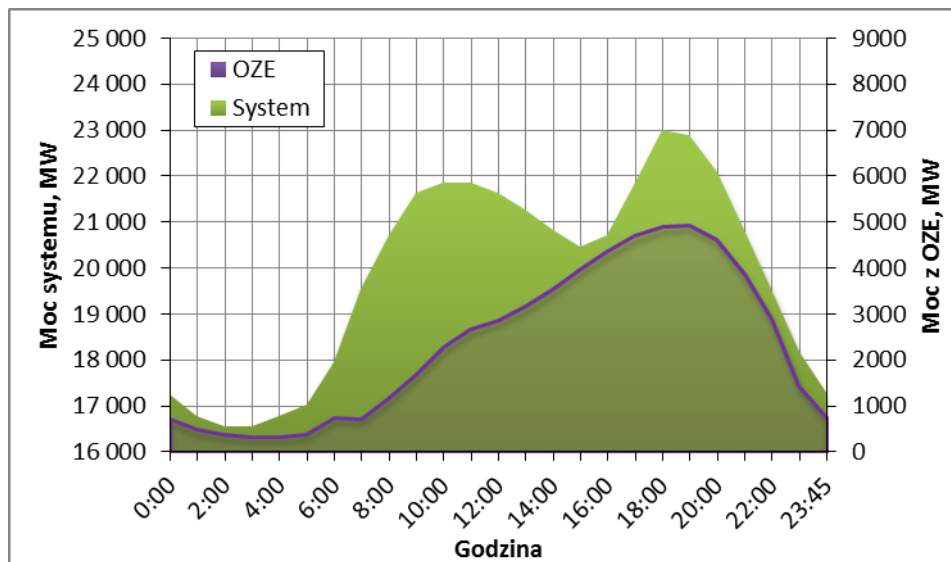


Rys. 15. Dobowa produkcja energii elektrycznej przez źródła fotowoltaiczne oraz wiatrowe

Uwzględniono tutaj założenia zrealizowane według postanowień na rok 2020 w aspekcie rozwoju OZE, zarówno źródeł dużej mocy oraz prosumenckich instalacji przydomowych [16]. Ze względu na aktualnie słabo rozwinięty segment OZE w Polsce poczyniono szereg założeń:

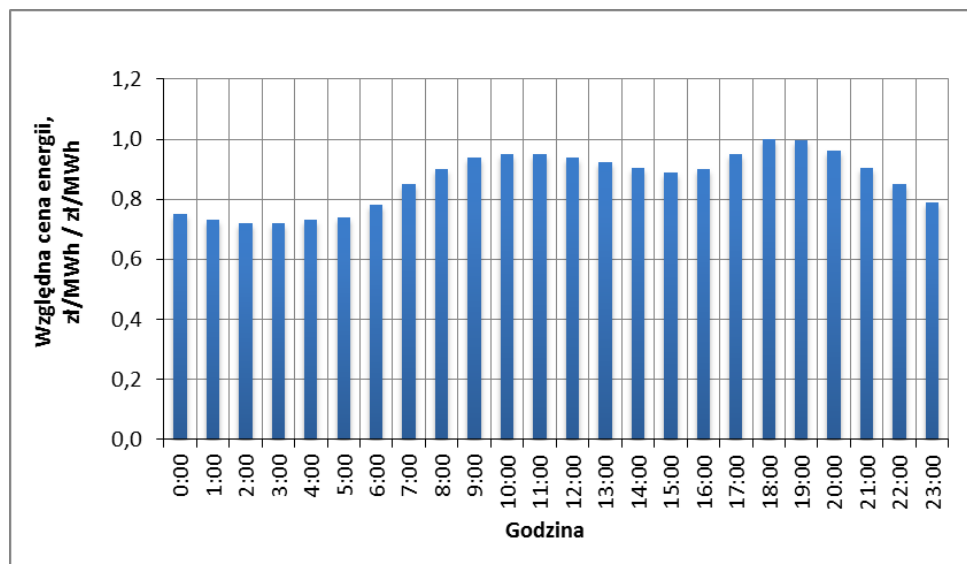
1. Energia produkowana przez źródła fotowoltaiczne stanowi 3% całkowitej energii w systemie;

2. Energia produkowana przez źródła wiatrowe stanowi 9% całkowitej energii w systemie;
3. Źródła fotowoltaiczne i wiatrowe produkują energię elektryczną według dobowej charakterystyki z Rys. 15;
4. Przyjęto dobowy profil zapotrzebowania na moc w systemie jak na Rys. 16;



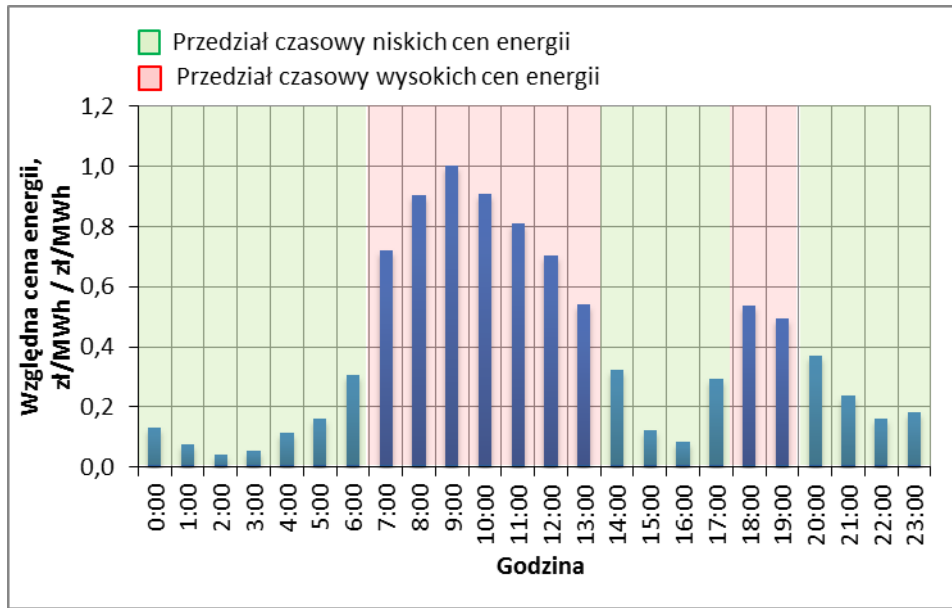
Rys. 16. Dobowe zapotrzebowanie na moc w systemie oraz moc produkowana przez OZE

Wiedząc, że cena energii elektrycznej zależy w głównej mierze od mocy zapotrzebowanej w systemie, wyznaczono godzinowe względne ceny (odniesione do stawki maksymalnej) elektrycznej wykorzystując dane z Towarowej Giełdy Energii [14] które zamieszczono na Rys. 17.



Rys. 17. Względne ceny energii elektrycznej na rynku odpowiadające zapotrzebowaniu na moc

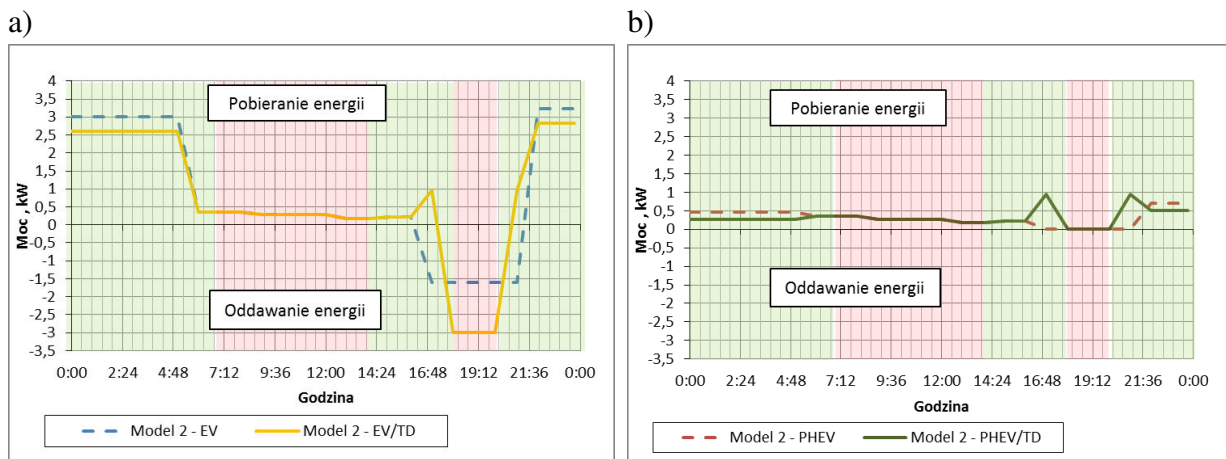
Próbując uniknąć spekulacji związanych z dokładną ceną energii elektrycznej przyjęto wyznaczenie względnych cen energii elektrycznej uwzględniających produkcję energii przez OZE w systemie (Rys. 16).

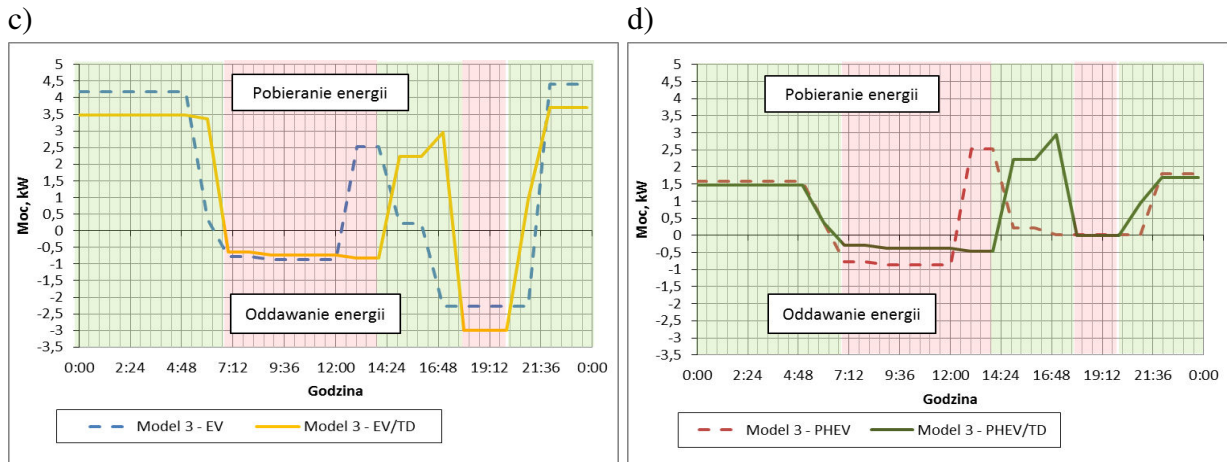


Rys. 18. Względne ceny energii elektrycznej uwzględniające bieżące zapotrzebowanie na moc oraz produkcji energii przez źródła odnawialne

Powwyższe ceny wynikają zarówno z popytu na energię elektryczną (profil mocy systemu) i mocy produkowanej przez wybrane OZE (profil mocy OZE) na Rys. 16. W wyniku znacznie tańszej energii pochodzącej z OZE i małego popytu na energię ceny spadają. W sytuacji skrajnej może dojść do nadprodukcji przewidywanej energii z OZE i tym samym do ujemnych cen energii. Obciążenie i oddawanie energii elektrycznej z zasobnika (Rys. 14) w porównaniu do założonej produkcji energii przez źródła odnawialne (Rys. 15) jest bardzo małe (rzędu kilku procent) zatem nie zostało uwzględnione przy wyznaczaniu względnych cen energii.

W celu zminimalizowania kosztów wynikających z narzuconych przez operatora cen energii (Rys. 18) konieczne jest dostosowanie profilu mocy domu jednorodzinnego. Wpływ stawek wynikających z taryfy dynamicznej na dobową zmianę poboru mocy przez dom z Rys. 12 i Rys. 13 został przedstawiony na Rys. 19.



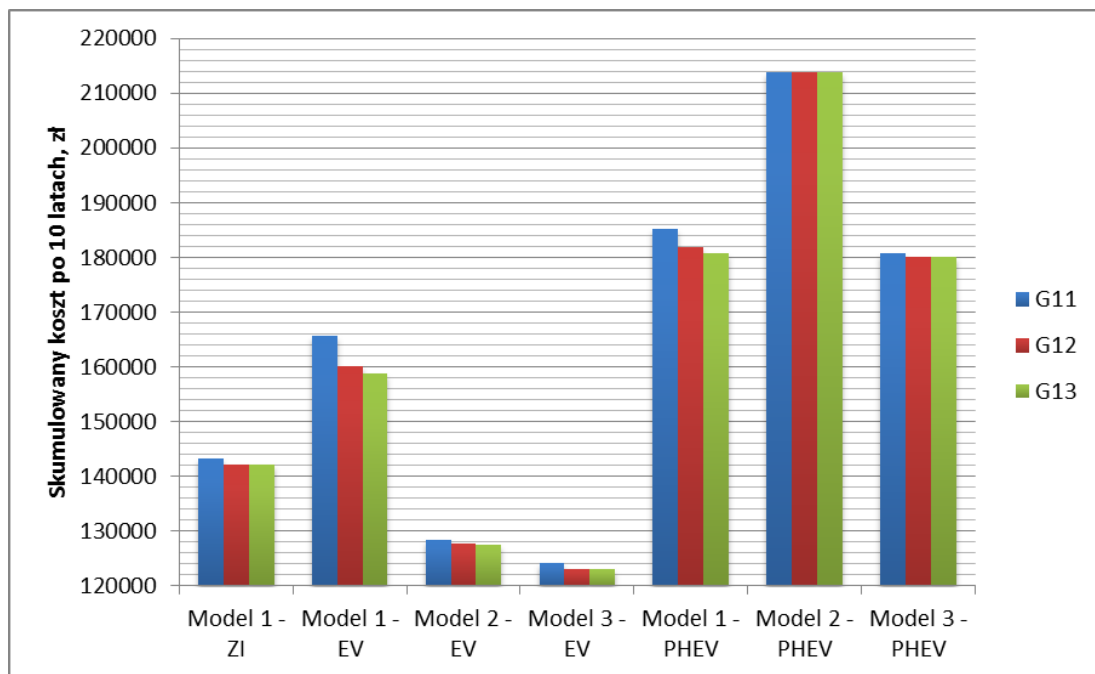


Rys. 19. Wpływ stawek energii taryfy dynamicznej na funkcjonowanie domu oraz: a) samochodu elektrycznego według modelu 2, b) samochodu hybrydowego według modelu 2, c) samochodu elektrycznego według modelu 3, d) samochodu hybrydowego według modelu 3

Podsumowanie

Zainwestowanie kapitału w samochód z napędem alternatywnym nie zawsze musi być opłacalne, a czas zwrotu inwestycji wynosi wiele lat. Na podstawie przeprowadzonej w raporcie analizy można wywnioskować, że kupno takiego pojazdu (EV lub PHEV) jedynie w celach transportowych jest nieopłacalne w dłuższej perspektywie ze względu na zmniejszającą się pojemność baterii z czasem i konieczność kupna/wymiany na nową.

Jeśli taki pojazd będzie pełnił nie tylko funkcję transportową, ale również zasobnika energii (model 2), czas zwrotu inwestycji może znacznie się zmniejszyć (ok. 8 lat dla samochodu Nissan Leaf).



Rys. 20. Skumulowany koszt użytkowania samochodu i opłat za energię elektryczną domu jednorodzinnego po 10 latach

Zastosowanie dodatkowego stacjonarnego zasobnika energii (model 3) może przyspieszyć zwrot inwestycji pomimo zwiększonego nakładu początkowego (koszt zakupu stacjonarnego zasobnika).

W obliczeniach poszczególnych modeli nie uwzględniono możliwości generacji energii z OZE w domu jednorodzinnym. Można jednak założyć, że ich udział miałby znaczący wpływ na czas zwrotu inwestycji. Zasilanie samochodów elektrycznych energią wytworzoną przez elektrownie węglowe powoduje dzisiaj większą emisję CO₂ niż samochód z napędem konwencjonalnym, zatem wykorzystanie OZE dodatkowo wpłynie na zmniejszenie emisji [4].

Kolejne obniżenie kosztów użytkowania pojazdów, czyli głównie kosztów energii elektrycznej możliwym jest poprzez korzystanie z taryfy dynamicznej w modelu IREE **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** Korzystanie z dobrodziejstwa taryfy dynamicznej wymaga zakupu inteligentnego licznika energii [1], który poprzez sieć internetową pobierałby aktualne stawki energii [3], co pozwoliłoby zmaksymalizować zysk z oddawania energii elektrycznej do sieci.

Literatura

- [1] Popczyk J., [*Model interaktywnego rynku energii elektrycznej. Od modeli WEK-IPP-EP do modelu EP-IPP-WEK.*](#) BŻEP, Dział 1.1.06, www.klaster3x20.pl, podstrona CEP.
- [2] Dębowski K., [*Licznik inteligentny EP wg iLab EPRO.*](#) BŻEP, Dział 1.2.02, www.klaster3x20.pl, podstrona CEP.
- [3] Wójcicki R., [*Informatyka w EP.*](#) BŻEP, Dział 1.2.06, www.klaster3x20.pl, podstrona CEP.
- [4] Wójtowicz S., *Pojazdy elektryczne i sieci Smart Grid*, Wydawnictwo Książkowe Instytutu Elektrotechniki, Warszawa 2011.
- [5] Popczyk J., *Bilans energetyczno-emisyjny samochodów elektrycznych*, Ecomanager Numer 11/2011.
- [6] *Ustawa z dnia 20 lutego 2015 o odnawialnych źródłach energii.*
- [7] *Taryfa dla energii elektrycznej TAURON Dystrybucja S.A. na rok 2015.*
- [8] Setlak R., Fice M., *Smart Hybrid – Integracja rynku transportowego z energetyką odnawialną poprzez wykorzystanie samochodów z układami Smart Hybrid LPG Plug Out do zasilania budynków.*
- [9] Michałkowski K., Ocioszyński J., *Pojazdy samochodowe o napędzie elektrycznym i hybrydowym*, WKŁ, Warszawa 1989.
- [10] http://samochodyelektryczne.org/wplyw_ladowania_samochodu_elektrycznego_na_zycie_energii_elektrycznej_przez_domek_jednorodzinny.htm
- [11] Fice M., [*Prosumencka mikroinfrastruktura energetyczna jako obiekt regulacji/sterowania.*](#) BŻEP, Dział 1.1.06, www.klaster3x20.pl, podstrona CEP.
- [12] <http://www.teslamotors.com/powerwall>
- [13] <http://www.best-selling-cars.com/germany/2014-germany-electric-hybrid-car-sales-statistics>
- [14] <http://www.pse.pl/>
- [15] <http://www.tge.pl>

- [16] Ministerstwo Środowiska, *Strategia rozwoju energetyki odnawialnej (realizacja obowiązku wynikającego z Rezolucji Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 8 lipca 1999 r. w sprawie wzrostu wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych)*, Warszawa, wrzesień 2000,

Datowanie RAPORTU (wersja oryginalna) – 20.07.2015 r.