

WITOLD SZYMANIAK

Wyższa Szkoła Bankowa w Poznaniu, Wydział Finansów i Bankowości
e-mail: w.szymaniak@gmail.com

Ocena opłacalności samochodu elektrycznego w porównaniu z samochodem benzynowym*

Streszczenie. W artykule omówiono problematykę dotyczącą opłacalności zakupu i eksploatacji samochodu elektrycznego w porównaniu z jego benzynowym odpowiednikiem. Opracowano i przedstawiono praktyczny, pięcioetapowy model oceny opłacalności, uwzględniający wartość pieniądza w czasie, oparty na rachunku kosztów cyklu życia produktu *LCC* rozpatrywanym z perspektywy konsumenta. Otrzymane wyniki wskazują na brak opłacalności samochodu elektrycznego względem jego benzynowego odpowiednika. Oszacowano przy tym maksymalną cenę, dla której zakup samochodu elektrycznego byłby opłacalny.

Słowa kluczowe: rachunek kosztów cyklu życia produktu, samochody elektryczne, elektromobilność, opłacalność

1. Wprowadzenie

Postęp technologiczny, wyznacznik dzisiejszych czasów, a także wzrost świadomości społeczeństwa w kwestii zagrożeń będących skutkiem zanieczyszczenia powietrza rakotwórczymi tlenkami azotu oraz pyłami zawieszonymi PM2.5 i PM10, w największym stopniu odpowiedzialnymi za zjawisko smogu i powstawanie chorób układu oddechowego, jak również zachodzące, nieodwracalne zmiany klimatu, jakie od lat można zaobserwować, zmusiły rządy wielu państw do poszukiwania rozwiązań, które pozwolą na poprawę jakości powietrza, zwłaszcza w wielkich miastach i zahamowanie degradacji naszej planety. Rozwój silników spalinowych zarówno pod kątem efektywności, jak i ograniczenia emisji spalin osiągnął już pewne granice technologiczne, co spowodowało, że zaczęto zwracać

* Artykuł został przygotowany na podstawie pracy magisterskiej autora pt. „Opłacalność zakupu samochodu elektrycznego w porównaniu z samochodem benzynowym”, napisanej pod kierunkiem dr. hab. Jarosława Mielcarka, prof. WSB w Poznaniu.

się ku zapomnianym rozwiązaniom opartym na napędzie elektrycznym. Dodatkowym bodźcem jest fakt, że złoża ropy naftowej są ograniczone i szacowane zależnie od utrzymywanego poziomu wydobycia na ok. 30-70 lat.

Elektromobilność może wydawać się zagadnieniem zupełnie nowym, choć w rzeczywistości ma ona całkiem długą tradycję, sięgającą lat 30. XIX w. To właśnie wtedy zaczęły powstawać pierwsze konstrukcje pojazdów z napędem elektrycznym. W tym miejscu należy dodać, że pod koniec XIX w. samochody elektryczne miały wyraźną przewagę nad swoimi parowymi i benzynowymi konkurentami. Wynikała ona z braku emisji gazów spalinowych, a co za tym idzie mniejszej ilości zapachów, czystości pracy, niskiego poziomu hałasu, a także łatwości obsługi, która nie wymagała ani opalania węglem kotła, aby wytworzyć parę, ani też energicznego kręcenia korbą w celu uruchomienia silnika spalinowego, wobec braku elektrycznych rozruszników, jak również kłopotliwego nieraz zmieniania przełożeń w skrzyni biegów. Istniała jeszcze jedna niepodważalna zaleta – dużo lepsze przyspieszenie i prędkość maksymalna. Taka sytuacja nie utrzymała się jednak zbyt długo.

Pierwszym potężnym ciosem dla elektromobilności było wprowadzenie przez Henry'ego Forda w 1908 r. do produkcji seryjnej niezwykle udanej koncepcji popularnego samochodu napędzanego silnikiem spalinowym – forda model T w niezwykle przystępnej cenie 850 dolarów, gdy na produkowany małoseryjnie samochód elektryczny trzeba było wydać przynajmniej 3000 dolarów. Następnym negatywnym z punktu widzenia rozwoju elektromobilności aspektem było wynalezienie i opatentowanie w 1911 r. rozrusznika elektrycznego do silników spalinowych, który zaczął być montowany przez koncern General Motors już w następnym roku modelowym i do początku lat 20. XX w. stał się standardowym wyposażeniem większości produkowanych ówczesnie samochodów amerykańskich, znacząco ułatwiając ich obsługę. Równie niekorzystnym czynnikiem było odkrycie złóż ropy naftowej w Teksasie wraz z początkiem XX w. oraz rozpoczęcie ich intensywnej eksploatacji, która przyczyniła się do zwiększenia dostępności i spadku cen produktów ropopochodnych, dając przy tym zielone światło do rozwoju samochodów spalinowych, których zasięg, dzięki rozwojowi sieci stacji paliw, stawał się praktycznie nieograniczony. Ostatnim z elementów, który definitywnie zadecydował o klęsce samochodów elektrycznych, był krach na amerykańskiej giełdzie z 1929 r. i początek globalnej depresji, która pociągnęła za sobą bankructwo dziesiątek znaczących firm z branży w Stanach Zjednoczonych, a także w Europie i Anglii, czego konsekwencją było praktycznie całkowite zniknięcie z rynku konstrukcji z napędem elektrycznym na najbliższe kilkadziesiąt lat.

Zasadniczą kwestią wpływającą na rozwój elektromobilności, obok sieci odpowiednio szybkich, ogólnodostępnych punktów do ładowania, jest sama opłacalność stosowania napędu elektrycznego na tle dotychczas stosowanych rozwiązań opartych na silnikach spalinowych. Mając to na uwadze, sformułowano problem badawczy, który sprowadza się do pytania: czy i w jakim stopniu

zakup i eksploatacja samochodu elektrycznego są opłacalne w porównaniu z jego benzynowym odpowiednikiem z punktu widzenia gospodarstwa domowego. Celem samych badań jest określenie opłacalności zakupu i eksploatacji samochodu elektrycznego w porównaniu z samochodem benzynowym, rozpatrywanej z perspektywy użytkownika indywidualnego, jak również sprawdzenie przyjętej hipotezy badawczej o braku opłacalności samochodów elektrycznych.

Przedstawiona w artykule pięcioetapowa procedura badawcza oparta jest na rachunku kosztów cyklu życia produktu (*Life Cycle Costing – LCC*) rozpatrywanym z perspektywy klienta. Uwzględnia ona wartość pieniądza w czasie, pozwala na analizę kilku wariantów zakładanego rocznego przebiegu, jak również kilku scenariuszy stopy dyskontowej. W toku analizy podjęta zostanie próba wyznaczenia rachunkowych (prostych) i dyskontowych okresów zwrotu, dyskontowych kryteriów akceptacji przedsięwzięć inwestycyjnych oraz punktów krytycznych, dla których zakup samochodu elektrycznego staje się opłacalny dla gospodarstwa domowego. Jako eksploatację samochodu należy rozumieć zarówno użytkowanie pojazdu nabytego przez konsumenta, jak i czynności związane z jego utrzymaniem, zakładające ponoszenie nakładów finansowych wynikających m.in. z napraw i czynności serwisowych wymaganych do zachowania go w należyłym stanie technicznym aż do momentu złomowania lub dalszej sprzedaży. Zaprezentowany model powstał na bazie rzeczywistych danych eksploatacyjnych. W rozważaniach nie przyjęto kalkulacji związanych z kosztami alternatywnymi.

2. Metody i narzędzia badawcze

Rachunek kosztów cyklu życia produktu *LCC*, na którym bazować będą badania, jest jedną z nowoczesnych koncepcji zarządzania i marketingu, powstałą w połowie lat 60. XX w. [Bogusz, Polakowski 2012: 7]. Ma ona na celu wspieranie procesu planowania i kontroli przy jednoczesnym uwzględnieniu kosztów ponoszonych przez przedsiębiorstwo w ramach poszczególnych obszarów działalności. Analiza *LCC* stanowi połączenie aspektów ekonomicznych i technicznych danego projektu [Selech, Kurczewski 2012: 99] rozumianych jako ogół przychodów i kosztów występujących na poszczególnych etapach życia produktu, w prognozowanym czasie jego trwania, pozwalając na określenie skali opłacalności danego przedsięwzięcia.

Sam cykl życia produktu może być rozpatrywany z perspektywy producenta, klienta, jak również produktu [Nita 2008: 247-257]. W przypadku samochodu osobowego cykl życia rozpatrywany z punktu widzenia klienta rozpoczyna się z chwilą jego zakupu, a kończy się z chwilą zaprzestania użytkowania i jego złomowania lub sprzedaży. Można zatem wyróżnić następujące fazy:

$$LCC = \text{faza nabycia} + \text{faza eksploatacji} + \text{faza likwidacji} \quad (1)$$

Przyszły użytkownik może zastosować analizę *LCC* jako podstawę decyzyjną przy zakupie produktu. Pomimo że wyniki są jedynie szacunkiem, to dostarczają one istotnych informacji przydatnych przy podejmowaniu decyzji [Dziaduch 2010: 19-20]. Nabywca będzie miał do czynienia z następującymi rodzajami kosztów:

– faza nabycia – koszt nabycia, czyli cena, jaką płaci się za samochód,
 – faza eksploatacji – suma kosztów eksploatacji, często określanych jako *TCO* (*Total Cost of Ownership*) – całkowity koszt posiadania¹. W przypadku samochodu osobowego składają się na niego:

- koszty związane z rejestracją i okresowymi badaniami technicznymi,
- koszty ubezpieczeń komunikacyjnych (OC, AC, NNW, Assistance),
- koszty paliwa lub energii elektrycznej,
- koszty serwisowania, na które składają się koszty czynności serwisowych przewidzianych przez producenta w okresie eksploatacji pojazdu (stanowiących podstawę gwarancji), tj. kontrola stanu technicznego, wymiana oleju i płynów eksploatacyjnych, filtrów, pasków itp., jak również koszt ogumienia (letniego oraz zimowego) i jego sezonowych zmian,
- koszty napraw, najtrudniejsze do oszacowania, zależne od awaryjności danego modelu, jak również sposobu i intensywności użytkowania pojazdu,
- koszty finansowania, na które składają się odsetki i prowizje od ewentualnych kredytów,

– faza likwidacji – przychód (wartość rezydualna – wartość pojazdu w momencie sprzedaży) bądź ewentualne koszty związane z odsprzedażą lub właściwą utylizacją pojazdu wycofanego z eksploatacji oraz utratą jego wartości rynkowej.

Na potrzeby analizy warto zastosować metodę *NPV* (*Net Present Value*) – bieżącą wartość netto. Jest to metoda dynamiczna, pozwalająca na ocenę opłacalności inwestycji, której zaletą jest wyrażanie przyszłych przepływów finansowych w bieżących wartościach. W obliczeniach uwzględnia się koszt nabycia, oszczędności i zyski w okresie eksploatacji, stopę dyskonta, jak również wartość pieniądza w czasie poprzez dyskontowanie przyszłych strumieni pieniężnych do ich aktualnej wartości [Bogusz 2017: 8-9]. *NPV* oblicza się z następującego wzoru:

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+r)^t} + CF_0 \quad (2)$$

gdzie:

CF_t – przepływy pieniężne netto. Wyływające (koszty) zapisuje się ze znakiem (-), wpływające (zyski) ze znakiem (+),

¹ <http://www.publicinsuranceagency.com/total-cost-of-ownership/> [dostęp: 15.07.2021].

CF_0 – przepływ pieniężny w chwili 0, stanowiący koszt zakupu – nakład inwestycyjny ze znakiem (-),

N – liczba okresów (lat eksploatacji), w których występują przepływy pieniężne,

r – stopa dyskontowa przyjęta do wyceny.

Interpretacja otrzymanego NPV :

- $NPV < 0$ – inwestycja nieopłacalna,
- $NPV = 0$ – inwestycja na granicy opłacalności,
- $NPV > 0$ – inwestycja opłacalna.

Stopa dyskontowa wyrażana w procentach odzwierciedla zmianę wartości pieniądza w czasie poprzez określenie, z jakiej części przyszłego kapitału jesteśmy w stanie zrezygnować, aby zamienić go w środki bieżące [Bogusz 2017: 6-7]. Metodę NPV cechuje dość duży subiektywizm i dowolność doboru stopy dyskontowej, która jednak powinna być stopą instrumentów wolnych od ryzyka (np. depozytów bankowych, obligacji skarbowych). W komunikacie z 19 stycznia 2008 r. opublikowanym w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej wskazano, że: „stopę referencyjną należy stosować także jako stopę dyskontową do obliczania wartości bieżących. W tym celu, co do zasady, stosowana będzie stopa bazowa powiększona o stałą marżę 100 punktów bazowych”². Pozwala to przyjęc na potrzeby analizy stopę referencyjną NBP jako stopę dyskontową.

Kolejną wykorzystywaną w analizie metodą silnie powiązaną z NPV będzie IRR (*Internal Rate of Return*) – wewnętrzna stopa zwrotu. Wyrażana jest ona w procentach i wskazuje taką wartość stopy dyskontowej, dla której $NPV=0$, czyli sytuację, w której zdyskontowane przepływy pieniężne będą równoważyć nakłady inwestycyjne [Bogusz 2017: 9-12]. Oblicza się ją, korzystając ze wzoru (3), jednak warto posłużyć się wbudowaną formułą programu Excel:

$$IRR = r_1 + \frac{NPV_1(r_2 - r_1)}{NPV_1 + |NPV_2|} \quad (3)$$

gdzie:

r_1 – stopa dyskontowa, dla której NPV jest dodatnie oraz bliskie zeru,

r_2 – stopa dyskontowa, dla której NPV jest ujemne oraz bliskie zeru,

NPV_1 – dodatnie, bliskie zeru NPV dla r_1 ,

NPV_2 – ujemne, bliskie zeru NPV dla r_2 .

Dla NPV oraz IRR występują następujące zależności:

- jeżeli $r > IRR$, to $NPV < 0$,
- jeżeli $r = IRR$, to $NPV = 0$,
- jeżeli $r < IRR$, to $NPV > 0$.

² Komunikat Komisji w sprawie zmiany metody ustalania stóp referencyjnych i dyskontowych (2008/C 14/02), Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej z 19.01.2008 r.

Innymi wskaźnikami wykorzystywanymi w analizie będą *APB* (*Accounting Payback Period*) – księgowy (prosty) okres zwrotu (4) oraz *DPB* (*Discounted Payback Period*) – zdyskontowany okres zwrotu (5) pozwalające ocenić, ile czasu potrzeba, aby zyski/oszczędności zwróciły różnicę w nakładach początkowych.

$$APB = a, \frac{b}{c} [\text{lata}] \quad (4)$$

gdzie:

a – liczba pełnych lat od zakupu z ujemną różnicą strumieni pieniężnych,
 b – część strumienia pieniężnego z roku następnego brakująca do pokrycia nakładów inwestycyjnych,
 c – całkowity przepływ pieniężny z roku następującego po roku a .

$$DPB = a, \frac{b}{c} [\text{lata}] \quad (5)$$

gdzie:

a – liczba pełnych lat od zakupu z ujemnym zdyskontowanym strumieniem pieniężnym,
 b – część wartości bieżącej strumienia pieniężnego brakującej do pokrycia nakładów inwestycyjnych,
 c – zdyskontowany przepływ pieniężny z roku następującego po roku a .

3. Badanie opłacalności zakupu samochodu elektrycznego

Kluczowy z punktu widzenia wiarygodności badań jest właściwy dobór samochodów do analizy porównawczej. Istotne, aby były to pojazdy tego samego segmentu, porównywalne zarówno pod kątem cech użytkowych, jak i wyposażenia, które ma znaczące odzwierciedlenie w cenie danego modelu. Z tego względu na potrzeby prezentacji metody badawczej wybrano dwa samochody segmentu C zbudowane na bazie tej samej płyty podłogowej, dysponujące podobnymi właściwościami użytkowymi, tj. Chevrolet Volt I generacji (2014) – elektryczny o rozszerzonym zasięgu E-REV³ oraz Opel Astra J (2014) – benzynowy turbo-

³ E-REV to zasadniczo samochód hybrydowy, zaliczany jednak do samochodów elektrycznych, ponieważ głównym źródłem napędu jest tu napęd elektryczny, pozwalający na pokonanie (w standardowych warunkach) dystansu przynajmniej 60 km z wykorzystaniem wyłącznie energii elektrycznej pochodzącej z ładowania z sieci, co w większości przypadków pokrywa się z dziennym przebiegiem związanym z dojazdami do szkoły czy pracy, pozwalając przy tym spełniać wymogi przewidziane dla samochodów bezemisyjnych (ZEV). Dopiero w chwili całkowitego rozładowania akumulatorów trakcyjnych, uruchamiany jest silnik spalinowy, którego zadaniem jest produkowanie energii elektrycznej pokrywającej bieżące zapotrzebowanie, jak ma to miejsce w szeregowych hybrydach.

doładowany o pojemności 1.4 litra. Założono ośmioletni cykl użytkowania obu pojazdów pokrywający się z okresem gwarancji, którą objęte są elementy układu napędowego Voltec zastosowanego w Chevroletie Voltcie oraz roczne przebiegi na poziomie 15 000 km, co odpowiada średnim dziennym przebiegom na poziomie 40-42 km. Wobec dużej zmienności stopy referencyjnej NBP w ostatnim czasie, będącej następstwem m.in. panującej pandemii koronawirusa, przyjęto cztery scenariusze stopy dyskontowej (2,50%, 1,27%, 0,10% oraz 0,00%) pokrywające się z wysokością maksymalną, średnią oraz minimalną stopy referencyjnej NBP w latach 2014-2020 oraz 0 (dla wartości nominalnych).

Na podstawie oficjalnych cenników General Motors Polska na rok 2014 oszacowano cenę wyjściową porównywalnych wersji wyposażeniowych obydwu aut, która dla modelu Chevrolet Volt wynosiła 182 050,00 zł, a dla Opla Astry 100 350,00 zł. Koszt rejestracji i przeglądów okresowych pojazdów ustalono na podstawie obowiązujących w tym zakresie stawek urzędowych. Na podstawie danych uzyskanych w trakcie wykonanych rzeczywistych testów drogowych oraz pomiarów całkowitej energii elektrycznej zużytej do ładowania samochodu elektrycznego, opierając się na średniej cenie energii elektrycznej w taryfie nocnej dla gospodarstw domowych – G12 (najczęściej wykorzystywanej do tego celu), a także średniej cenie benzyny Eurosuper 95 w 2019 r., oszacowano roczny koszt paliwa oraz energii elektrycznej dla badanych pojazdów. Korzystając z harmonogramów serwisowych, cenników oraz osobistych doświadczeń eksploatacyjnych, oszacowano przybliżony koszt serwisowania oraz niektórych napraw elementów zawieszenia i układu hamulcowego dla zakładanych rocznych przebiegów. W kalkulacji uwzględniono również sezonowe zmiany ogumienia, co obok kosztów samej wymiany wiązało się również z zakupem dodatkowych trzech kompletów opon (dwóch zimowych, jednego letniego) w całym ośmioletnim okresie eksploatacji. Koszt ubezpieczeń skalkulowano zgodnie z wyceną pakietów ubezpieczenia u największego polskiego ubezpieczyciela – PZU S.A. Z chwilą zakończenia eksploatacji założono sprzedaż obydwu pojazdów, z której przychód stanowić będzie wartość rezydualną, którą oszacowano na podstawie podobnych ofert sprzedaży⁴, ośmioletnich modeli z rocznika 2012 o przebiegu zbliżonym do zakładanego w chwili zakończenia eksploatacji, tj. 120 000 km.

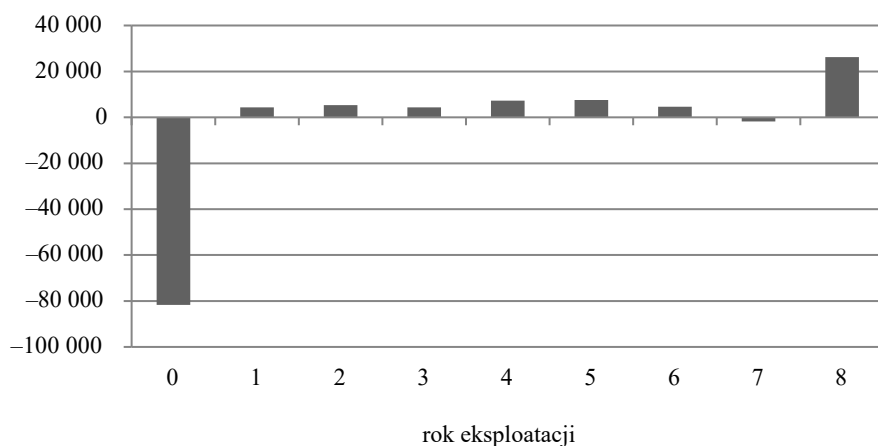
W pierwszym etapie, oddzielnie dla każdego z badanych samochodów, z uwzględnieniem prognozowanego rocznego przebiegu i zakładanego cyklu życia, opierając się na uzyskanych wcześniej danych wyjściowych, stworzona została struktura przychodów oraz kosztów z podziałem na trzy fazy: nabycia, eksploatacji oraz likwidacji. Obliczenia całkowitych strumieni pieniężnych netto występujących w kolejnych latach cyklu życia obu pojazdów przedstawiają tabele 1 i 2.

⁴ Ogłoszenia z serwisów Otomoto.pl oraz Mobile.de [dostęp: 15.07.2021].

Tabele 1 i 2 zawierają przepływy pieniężne występujące w poszczególnych fazach cyklu życia Chevroleta Volta (tab. 1) oraz Opla Astry (tab. 2). W fazie nabycia występują wyłącznie koszty związane z zakupem pojazdu, bazujące na oficjalnych cennikach General Motors Polska. W fazie eksploatacji wyszczególniono koszty: związane z rejestracją pojazdu (stawki ustawowe), obowiązkowych badań technicznych (stawki ustawowe), ubezpieczeń (pakiety dealerskie), przeglądów serwisowych wymaganych do utrzymania należytego stanu technicznego i gwarancji (skalkulowane na podstawie harmonogramów i cenników serwisowych), ogumienia (letniego oraz zimowego) i jego sezonowej zmiany, napraw układu hamulcowego i zawieszenia (wymiana klocków, tarcz, amortyzatorów), paliwa, energii elektrycznej (w przypadku samochodu elektrycznego). W fazie likwidacji założono sprzedaż pojazdu, stąd koszt likwidacji to przepływ pieniężny z przeciwnym znakiem, stanowiący przychód⁵.

W drugim etapie badawczym obliczone zostały różnice w wartości całkowitych strumieni pieniężnych netto, występujących w poszczególnych latach cyklu życia między obydwoma samochodami (wykres 1 oraz tab. 3).

Wykres 1. Różnice w wartościach całkowitych strumieni pieniężnych netto dla ośmioletniego okresu eksploatacji oraz rocznego przebiegu 15 000 km



Źródło: opracowanie własne.

⁵ Ze względu na ograniczoną objętość artykułu nie zamieszczono szczegółowego zestawienia kosztów. Tabele z danymi źródłowymi, obliczenia oraz objaśnienia dotyczące kosztów dla 3 scenariuszy rocznego przebiegu – 15 000, 20 000 i 25 000 km, wraz z wynikami pomiarów rzeczywistej energii elektrycznej pobranej z sieci w trakcie ładowania samochodu elektrycznego, jak również średniego spalania samochodu benzynowego w cyklu mieszanym, zawarto w niepublikowanej pracy magisterskiej autora pt. „Opłacalność zakupu samochodu elektrycznego w porównaniu z samochodem benzynowym”.

Tabela 3. Strumienie pieniężne netto dla Chevroleta Volta i Opla Astry, okresu eksploatacji 8 lat oraz rocznego przebiegu 15 000 km [w zł]

Rok eksploatacji	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Przepływy pieniężne netto dla samochodu Chevrolet Volt	-182 050,00	-5 981,40	-4 040,97	-4 526,82	-4 139,97	-4 744,53	-9 583,09	-11 071,83	-3 989,97
Strumień pieniężny związany ze sprzedażą samochodu (RV) Chevrolet Volt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58 000,00
Całkowite przepływy pieniężne dla samochodu Chevrolet Volt	-182 050,00	-5 981,40	-4 040,97	-4 526,82	-4 139,97	-4 744,53	-9 583,09	-11 071,83	54 010,03
Przepływy pieniężne netto dla samochodu Opel Astra	-100 350,00	-10 280,90	-9 292,49	-8 828,72	-11 416,61	-12 243,84	-14 191,49	-9 269,33	-8 289,47
Strumień pieniężny związany ze sprzedażą samochodu (RV) Opel Astra	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36 000,00
Całkowite przepływy pieniężne dla samochodu Opel Astra	-100 350,00	-10 280,90	-9 292,49	-8 828,72	-11 416,61	-12 243,84	-14 191,49	-9 269,33	27 710,53
Różnica wartości całkowitych przepływów pieniężnych netto (CF) dla samochodów Chevrolet Volt i Opel Astra	-81 700,00	4 299,50	5 251,52	4 301,90	7 276,64	7 499,31	4 608,40	-1 802,50	26 299,50

Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych obliczeń.

Tabela 3 zawiera porównanie przepływów pieniężnych występujących w poszczególnych latach cyklu życia obu pojazdów. Dodatkowo wartości różnic strumieni (CF) stanowi oszczędności (zyski) eksploatacyjne przemawiające na korzyść samochodu elektrycznego. Należy zauważyć, że przy zakładanym rocznym przebiegu 15 000 km, w siódmym roku eksploatacji samochodu Chevrolet Volt następuje wynikająca z interwałów eksploatacyjnych kumulacja kosztownych wydatków, związanych m.in. z remontem układu hamulcowego oraz zawieszenia, które dla Opla Astry rozkładają się bardziej równomiernie. Przekłada się to na ujemną wartość różnicy strumienia pieniężnego netto w tym roku.

W trzecim etapie obliczono zdyskontowane różnice strumieni pieniężnych (*DCF*), przedstawione w tabeli 4. Przyjęto trzy warianty stopy dyskontowej, pokrywające się z maksymalną, średnią oraz minimalną wysokością stopy referencyjnej NBP⁶ w okresie od 1 stycznia 2014 r. do 31 grudnia 2020 r., tj. 2,50%, 1,27% oraz 0,10%. Następnie podjęta została próba wyznaczenia księgowego (prostego) okresu zwrotu (*Accounting Payback*) – *APB* oraz zdyskontowanych okresów zwrotu (*Discounted Payback*) – *DPB* (tab. 5).

W czwartym etapie obliczone zostały *NPV* oraz wewnętrzna stopa zwrotu (*IRR*) dla rozpatrywanych wariantów dyskontowych:

$$\begin{aligned} NPV_1 &= -31\,248,92 \text{ zł} & (r_1 = 2,50\%) \\ NPV_2 &= -27\,826,71 \text{ zł} & (r_2 = 1,27\%) \\ NPV_3 &= -24\,284,25 \text{ zł} & (r_3 = 0,10\%) \\ IRR &= -5,89\%. \end{aligned}$$

W tym momencie szczególnie istotne jest określenie, czy dla któregoś z zakładanych wariantów spełnione zostaną co najmniej minimalne wielkości dyskontowych kryteriów akceptacji przedsięwzięć gospodarczych (w badanym przypadku zakupu samochodu osobowego przez konsumenta indywidualnego). Kryteriami tymi są $NPV = 0$ oraz $IRR = r$, gdzie r jest stopą dyskontową. Innymi słowy zakup samochodu elektrycznego będzie opłacalny w sytuacji, gdy NPV będzie nie mniejsze niż zero, a IRR nie mniejsze niż stopy dyskontowe przyjmowane w poszczególnych wariantach.

W ostatnim etapie podjęto próbę oszacowania maksymalnej różnicy w cenie zakupu przy użyciu wbudowanej funkcji programu MS Excel: szukaj wyniku (ang. *Goal seek*) dla wszystkich scenariuszy stopy dyskontowej (2,50%, 1,27%, 0,10% oraz 0,00%), która dzięki oszczędnościom eksploatacyjnym w zakładanym cyklu życia spowoduje zrównanie wyższych nakładów inwestycyjnych ($NPV=0$). Na jej podstawie wyznaczono maksymalną cenę zakupu samochodu elektrycznego, stanowiącą próg rentowności zakupu, rozumiany jako suma ceny samochodu benzynowego i maksymalnej różnicy w cenie obu pojazdów (zob. tab. 6).

⁶ https://www.nbp.pl/home.aspx?f=/dzienne/stopy_archiwum.htm [dostęp: 15.07.2021].

Tabela 4. Zdyskontowane różnice strumieni dla Chevroleta Volta i Opla Astry, okresu 8 lat oraz rocznego przebiegu 15 000 km [zł]

Rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Różnica CF	-81 700,00	4 299,50	5 251,52	4 301,90	7 276,64	7 499,31	4 608,40	-1 802,50	26 299,50
DCF ₁	-81 700,00	4 194,63	4 998,47	3 994,74	6 592,28	6 628,30	3 973,81	-1 516,38	21 585,22
DCF ₂	-81 700,00	4 245,72	5 120,97	4 142,48	6 919,34	7 041,88	4 273,18	-1 650,48	23 780,19
DCF ₃	-81 700,00	4 295,20	5 241,03	4 289,02	7 247,61	7 461,93	4 580,85	-1 789,93	26 090,05

Źródło: opracowanie własne na podstawie obliczeń.

Tabela 5. Skumulowane wartości różnicy strumieni dla Chevroleta Volta i Opla Astry, okresu 8 lat oraz rocznego przebiegu 15 000 km [w zł]

Rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Różnica CF	-81 700,00	4 299,50	5 251,52	4 301,90	7 276,64	7 499,31	4 608,40	-1 802,50	26 299,50
DPB ₁	-81 700,00	-77 505,37	-72 506,89	-68 512,15	-61 919,88	-55 291,58	-51 317,77	-52 834,15	-31 248,92
DPB ₂	-81 700,00	-77 454,28	-72 333,31	-68 190,83	-61 271,49	-54 229,60	-49 956,43	-51 606,90	-27 826,71
DPB ₃	-81 700,00	-77 404,80	-72 163,76	-67 874,74	-60 627,14	-53 165,21	-48 584,36	-50 374,30	-24 284,25
APB	-81 700,00	-77 400,50	-72 148,98	-67 847,08	-60 570,44	-53 071,13	-48 462,73	-50 265,23	-23 965,73

Źródło: opracowanie własne na podstawie obliczeń.

Tabela 6. Maksymalna cena oraz maksymalna różnica w cenie zakupu samochodu elektrycznego dla okresu 8 lat oraz rocznego przebiegu 15 000 km [w zł]

Stopa dyskontowa	Rzeczywista różnica w cenie samochodów	Maksymalna różnica w cenie samochodów	Cena rzeczywista samochodu elektrycznego	Cena maksymalna samochodu elektrycznego	Marża niezbędnego spadku ceny samochodu elektrycznego	Stopa marży niezbędnego spadku ceny samochodu elektrycznego
2,50%	81 700,00	50 451,08	182 050,00	150 801,08	-31 248,92	-17,17%
1,27%	81 700,00	53 873,29	182 050,00	154 223,29	-27 826,71	-15,29%
0,10%	81 700,00	57 415,75	182 050,00	157 765,75	-24 284,25	-13,34%
0,00%	81 700,00	57 734,27	182 050,00	158 084,27	-23 965,73	-13,16%

Źródło: opracowanie własne na podstawie obliczeń.

W przypadku, gdy dla któregokolwiek z wariantów spełnione zostaną przyjęte kryteria dyskontowe akceptacji przedsięwzięcia gospodarczego, określony zostanie punkt krytyczny za pomocą marży maksymalnego wzrostu ceny samochodu elektrycznego, jak również stopa marży tego wzrostu, dla której *NPV* spada do zera, a *IRR* zrównuje się ze stopą dyskontową. Będzie to marża bezpieczeństwa (*Safety Margin*) – *SM* i powiązana z nią stopa marży bezpieczeństwa (*Safety Margin Rate*) – *SMR* dla opłacalności zakupu samochodu elektrycznego. Obydwie te wielkości będą miarą przewagi samochodu elektrycznego nad benzynowym.

W przeciwnym przypadku trzeba będzie określić minimalny wymagany spadek ceny samochodu elektrycznego i stopę tego spadku, dla którego *NPV* rośnie do zera i *IRR* zrównuje się ze stopą dyskontową. Będzie to marża minimalnego, wymaganego spadku ceny samochodu elektrycznego (*Minimum Required Price Decrease Margin*) – *MRPDM* i powiązana z nią stopa marży minimalnego, wymaganego spadku ceny samochodu elektrycznego (*Minimum Required Price Decrease Margin Rate*) – *MRPDMR*. Obie te wielkości będą miarą niedojrzałości technologicznej samochodu elektrycznego i równocześnie miarą przewagi samochodu benzynowego [Mielcarek 2006: 140-143].

Tabela 4 przedstawia zdyskontowane różnice strumieni pieniężnych (*DCF*) dla przyjętych wariantów stopy dyskontowej (2,50%, 1,27%, 0,10%) pokrywających się z wysokością maksymalną, średnią oraz minimalną stopy referencyjnej NBP w latach 2014-2020 oraz 0,00% (dla wartości nominalnych). Suma zdyskontowanych strumieni pieniężnych z poszczególnych lat cyklu życia stanowi *NPV*, które dla rozpatrywanych stóp dyskontowych *NPV* każdorazowo jest ujemne. Stwierdzono ponadto, że nie istnieje nie mniejsza od zera stopa dyskontowa, dla której w okresie ośmioletnim następuje zwrot dodatkowego wydatku na zakup samochodu elektrycznego o rozszerzonym zasięgu. Dopiero dla ujemnej wewnętrznej stopy zwrotu (*IRR*), wynoszącej -5,89%, następuje zrównanie nad-

wyżki ceny za samochód elektryczny z różnicą w kosztach fazy eksploatacyjnej i cenie sprzedaży samochodów używanych po 8 latach.

Tabela 5 przedstawia próbę wyznaczenia dyskontowych okresów zwrotu (*DPB*) oraz księgowego okresu zwrotu (*APB*). W badanym przypadku w żadnym roku spośród ośmiu lat okresu eksploatacyjnego skumulowana wartość zdyskontowanych strumieni pieniężnych (*DPB*) nie osiąga wielkości 0, która wskazywałaby rok, w którym nastąpiłby zwrot dodatkowego wydatku na zakup samochodu elektrycznego (zdyskontowany okres zwrotu). W takiej sytuacji na koniec okresu ósmego wartość niezwróconych nakładów równa jest *NPV*. Należy również zauważyć, że nawet dla stopy dyskontowej równej 0,00% *APB* po ośmiu latach także nie osiąga wielkości 0, co jest warunkiem wyznaczenia księgowego (prostego) okresu zwrotu.

Tabela 6 przedstawia maksymalną cenę samochodu elektrycznego, maksymalną różnicę w cenie między samochodem elektrycznym a benzynowym, marżę niezbędnego spadku ceny, jak i jej stopę, stanowiące punkty krytyczne, dla których zakup samochodu elektrycznego staje się opłacalny z punktu widzenia gospodarstwa domowego. Maksymalna cena zakupu samochodu elektrycznego (cena w progu opłacalności) dla rozpatrywanego przypadku, zależnie od przyjętej stopy dyskontowej zawiera się w zakresie od 150 801,08 zł do 158 048,27 zł, natomiast stopa marży niezbędnego spadku ceny samochodu elektrycznego zawiera się w zakresie od -17,17% do -13,16%, wskazując, o ile procent powinna w tym przypadku spaść cena samochodu elektrycznego, aby osiągnąć próg opłacalności zakupu, dla którego oszczędności eksploatacyjne zwracają wyższe nakłady w cenie nabycia.

4. Podsumowanie

Celem pracy było określenie opłacalności zakupu i eksploatacji samochodu elektrycznego w porównaniu z samochodem benzynowym. Postawiony problem badawczy sprowadzał się do pytania: Czy i w jakim stopniu zakup i eksploatacja samochodu elektrycznego są opłacalne w porównaniu z jego benzynowym odpowiednikiem.

Z przeprowadzonych badań wynika, że dla zakładanego scenariusza rocznego przebiegu, tj. 15 000 km oraz przyjętych wartości stopy dyskontowej (2,50%, 1,27%, 0,10%, 0,00%), zakup samochodu elektrycznego o rozszerzonym zasięgu był nieopłacalny ekonomicznie względem samochodu benzynowego. Postawiony problem został zatem rozwiązany i osiągnięto założony cel badawczy. Nie zostały spełnione podstawowe kryteria dyskontowe opłacalności przedsięwzięcia, dla których *NPV* osiąga wartość zero, a *IRR* zrównuje się ze stopą dyskontową.

Ponadto w żadnym roku, spośród ośmiu lat okresu eksploatacyjnego, skumulowana wartość strumieni pieniężnych (*APB*) oraz skumulowana wartość zdyskontowanych strumieni pieniężnych (*DPB*) nie osiąga wartości zero, która wskazywałaby rok, w którym nastąpił zwrot wyższych nakładów inwestycyjnych. Oszacowana maksymalna cena samochodu elektrycznego, stanowiąca punkt krytyczny opłacalności zakupu dla wszystkich rozpatrzonych scenariuszy stopy dyskontowej, była niższa od rzeczywistej, katalogowej ceny samochodu elektrycznego. Z tego względu stopa marży niezbędnego spadku ceny również była ujemna. Hipoteza o nieopłacalności samochodów elektrycznych została w tym przypadku potwierdzona.

Fakt ten może świadczyć zarówno o niskiej dojrzałości wdrożeniowej technologii, jak i być efektem zastosowania w Chevrolecie Volcie obok napędu elektrycznego silnika spalinowego wykorzystywanego do produkcji energii elektrycznej, co wprawdzie zwiększa uniwersalność pojazdu, ale również drastycznie podnosi koszty jego produkcji i w efekcie jego cenę jednostkową. Cena zakupu Chevroleta Volta była o ponad 80% wyższa niż Opla Astry na co wpływ, oprócz zastosowania drogich, zaawansowanych technologicznie podzespołów, mają opłaty importowe związane z transportem ze Stanów Zjednoczonych, w tym również 10% stawka celna, którą obłożone są samochody wyprodukowane w USA i importowane na terytorium Unii Europejskiej.

Opracowana metoda badawcza zaprezentowana w artykule umożliwia analizowanie opłacalności dowolnie wybranej pary samochodów na podstawie zgromadzonych wcześniej danych wyjściowych. Każdorazowo wyniki są jedynie szacunkiem, dostarczają jednak pewnych istotnych z punktu widzenia nabywcy informacji, przydatnych w procesie podejmowania decyzji o zakupie samochodu elektrycznego.

Literatura

- Bogusz A., 2017, *Koszty cyklu życia LCC. Efektywne zamówienia publiczne – wzmocnienie potencjału administracji*, Katowice: Urząd Zamówień Publicznych.
- Bogusz A., Polakowski Ł., 2012, *Rachunek kosztów życia – LCC. Zielone zamówienia publiczne*. II Podręcznik, Warszawa: Urząd Zamówień Publicznych.
- Dziaduch I., 2010, Investment Profitability Evaluation on the Basis of Life Cycle Cost (LCC) and Discount Method (NPV), *Logistics and Transport*, nr 1(10): 19-24.
- Mielcarek J., 2006, *Analiza wrażliwości w rachunkowości zarządczej*, Poznań: Wydawnictwo Target.
- Mielcarek J., 2019, *Współczesne modele rachunku kosztów – LCC* (nieopublikowany wykład), 40.
- Nita B., 2008, *Rachunkowość w zarządzaniu strategicznym przedsiębiorstwem*, Kraków: Wolters Kluwer Polska.
- Selech J., Kurczewski P., 2012, Life Cycle Costing jako nowoczesny model zarządzania kosztami cyklu życia na przykładzie obiektów technicznych, *Problemy Eksploatacji*, nr 1: 99-108.

An assessment of the profitability of an electric car compared to a petrol-powered car

Abstract. The article deals with the problem of the profitability of purchasing and operating an electric car in comparison with a petrol-powered counterpart. The author proposes a practical, 5-step profitability assessment model, which accounts for the value of money over time and is based on life cycle costing from the consumer's perspective. The results indicate that an electric car is not profitable compared to a petrol counterpart. An estimate is also provided of the maximum price at which an electric car would be profitable.

Keywords: life cycle costing, electric vehicles, electromobility, profitability

