

Anna Domagała

Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Wydział Informatyki i Gospodarki
Elektronicznej, Katedra Ekonometrii
anna.domagala@ue.poznan.pl

METODA DEA JAKO NARZĘDZIE WSPARCIA W PROCESIE KUPNA-SPRZEDAŻY SAMOCHODÓW OSOBOWYCH

Streszczenie: W artykule zaproponowano wykorzystanie metody DEA (*Data Envelopment Analysis*) do konstrukcji rankingów samochodów osobowych. W prezentowanym badaniu przyjęto różne zestawy zmiennych, odzwierciedlające różne profile klienta (takie, jak oszczędność, dynamika, bezpieczeństwo), co pozwoliło wyłonić pojazdy efektywne z danego punktu widzenia. Tak skonstruowane rankingi mogą być przydatne zarówno dla sprzedawcy przygotowującego ofertę dla klienta, jak i dla samego klienta, który chciałby porównać interesujące go pojazdy, eliminując przy tym wpływ emocji, którymi zazwyczaj obarczony jest zakup pojazdu. Efektywność pojazdów oszacowano za pomocą nieradialnego modelu SBM (*Slacks-Based Measure*) z nadefektywnością, który pozwala nie tylko na konstrukcję rankingów badanych obiektów, ale także na szczegółową analizę źródeł nadefektywności oraz nieefektywności badanych obiektów.

Słowa kluczowe: DEA (*Data Envelopment Analysis*), efektywność, nadefektywność, SBM (*Slacks-Based Measure*), samochody osobowe.

Klasyfikacja JEL: D12, D24, L23, L92, M11, M31.

DATA ENVELOPMENT ANALYSIS AS A SUPPORTIVE TOOL IN BUYING AND SELLING CARS

Abstract: The article proposes the use of the *Data Envelopment Analysis* method in building passenger car rankings. In this study various combinations of variables were adopted so as to reflect different customer profiles (such as economy, dynamics and safety) which made it possible to determine best cars for a given profile. Such rankings can be useful to both the seller in the process of preparing offers for customers and to the customer who would like to compare cars by eliminating the influence of the emotions which are usually connected with buying a car.

The appropriateness of the vehicles was estimated using a non-radial super-efficiency SBM (*Slacks-Based Measure*) model, which permits not only the building of the ranking list, but also a detailed analysis of the sources of super-efficiency and the inefficiency of given aspects.

Keywords: DEA (*Data Envelopment Analysis*), efficiency, super-efficiency, SBM (*Slacks-Based Measure*), cars.

Wstęp

Rynek sprzedaży samochodów osobowych, podobnie jak inne gałęzie gospodarki, podlega wahaniom koniunkturalnym, ale cechuje się dynamicznym rozwojem. Jest to związane zarówno z postępem technologicznym, jak i dużą konkurencją wśród producentów oraz sprzedawców (tzw. dealerów samochodowych). Odbiorcą końcowym jest klient, który dokonuje wyboru swojego samochodu z szerokiej oferty prezentowanej przez dealerów różnych marek. Pozyskanie i utrzymanie klienta to oczywiście główny cel każdego sprzedawcy, dlatego dealerzy prześcigają się w różnych strategiach marketingowych i kampaniach promocyjnych.

Sprzedaż samochodów osobowych jest jednak procesem trudnym, gdyż samochód nie jest dobrem nabywanym regularnie i decyzja o wyborze danej marki i modelu rzadko jest podejmowana bez wcześniejszego przygotowania. Klient ma zazwyczaj swoje preferencje dotyczące nabywanego pojazdu, a także pewne ograniczone możliwości finansowe. Pożyczany jest pojazd, który najlepiej będzie spełniać wymagania przyszłego użytkownika. Należy zauważyć, że konsumenci rzadko kierują się wyłącznie kryterium maksymalizacji jakości lub minimalizacji ceny towaru. Zazwyczaj starają się optymalizować relację jakości do ceny.

Celem niniejszej pracy jest propozycja wykorzystania narzędzia, jakim jest metoda badania efektywności *Data Envelopment Analysis* do budowy rankingów samochodów osobowych, uwzględniających zarówno cenę pojazdu, jak i zróżnicowane wymagania klienta, odzwierciedlające różne jego preferencje.

Zastosowanie metody DEA do badania efektywności pojazdów nie jest koncepcją nową, ale niezbyt powszechną. Wśród najbardziej znanych pozycji omawiających tę metodę w literaturze przedmiotu należy wymienić prace: Papahristodoulou [1997], Staata i Hammerschmidta [2005], Oh, Lee, Hwang i Heshmati [2010], o których więcej w pracy Domagały [2012]¹. Badania te

¹ Gdzie omówiono pilotaż niniejszego badania, które jest zapowiadany rozwinięciem podjętego tam tematu.

dotyczyły tylko pojazdów o silnikach benzynowych, a wykorzystane zmienne to przede wszystkim: cena pojazdu, koszty paliwa, wymiary pojazdu, pojemność silnika, moc, prędkość maksymalna oraz przyspieszenie [Papahristodoulou 1997], a także: zmienna obrazująca siłę marki i zmienna wskazująca, czy pojazd ma klimatyzację i/lub system surround sound stereo [Staat i Hammerschmidt 2005] lub zmienna wskazującą typ skrzyni biegów, pełniącą rolę zmiennej symptomatycznej² [Oh i in. 2010]. We wszystkich powyższych badaniach przy szacowaniu efektywności wykorzystano podstawowe radialne modele DEA.

We wspomnianych pracach nie wzięto natomiast pod uwagę preferencji klienta – zaproponowane rankingi pojazdów powstały w wyniku przyjęcia jednego, wybranego przez danych autorów układu zmiennych. W niniejszym opracowaniu wykorzystano odrębne zestawy zmiennych, aby odzwierciedlić różne profile klienta. Ponadto w prezentowanym podejściu ujęto dodatkowo zmienne, które nie zostały wzięte pod uwagę w pracach wymienionych powyżej, a w celu oszacowania efektywności pojazdów wykorzystano nieradialny model DEA.

1. Zastosowana metoda badania efektywności

Rankingi pojazdów zbudowano na podstawie nieparametrycznej metody DEA (*Data Envelopment Analysis*)³, która jest metodą badania względnej⁴ efektywności procesu przekształcania nakładów w wyniki w grupie obiektów opisanych wielowymiarowym układem zmiennych.

Wybrano właśnie tę metodę, gdyż pozwala ona ocenić efektywność obiektów pod względem przekształcania nakładów w wyniki⁵. Ponadto w metodzie DEA nakłady i wyniki są ważone w sposób najkorzystniejszy dla analizowanego obiektu. Oznacza to, że najwyższe wartości wag otrzymują zmienne, które najsilniej wpływają na efektywność tego obiektu.

Poprawne zastosowanie metody DEA jest możliwe po spełnieniu pewnych założeń, wśród których jest między innymi warunek homogeniczności badanej

² Pojazdy z automatyczną skrzynią biegów autorzy uznali za luksusowe.

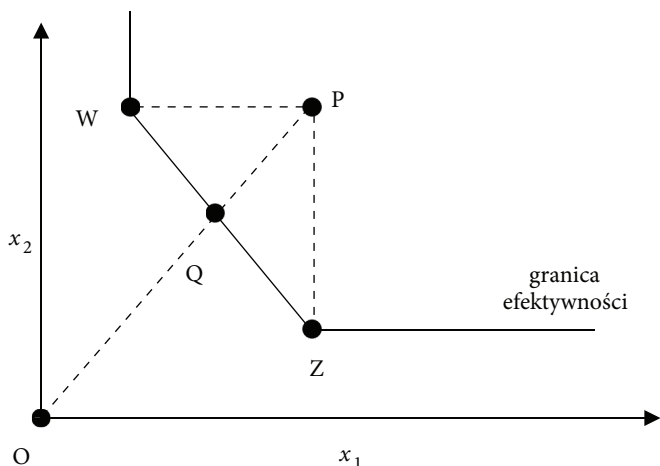
³ W polskiej literaturze spotykana jest także pod nazwą analizy obwiedni (lub otoczki) danych.

⁴ Efektywność danego obiektu jest ustalana na tle pozostałych obiektów w grupie, a dokładniej opierając się na jednostkach wzorcowych, leżących na granicy efektywności ustalonej na podstawie DEA.

⁵ Miernik syntetyczny powszechnie stosowany do konstrukcji rankingów nie daje takiej możliwości.

grupy obiektów oraz możliwość podziału cech opisujących obiekty na nakłady i wyniki. Badana grupa powinna być także odpowiednio duża w stosunku do liczby cech opisujących obiekty⁶.

Metoda DEA została opracowana przez Charnesa, Coopera i Rhodessa [1978], którzy na podstawie pracy Farrella [1957] zaproponowali podstawowy model DEA – radialny model CCR. W późniejszych latach powstało wiele modyfikacji tego modelu, które łącznie tworzą tzw. grupę modeli DEA. W grupie tej znajdują się także modele nieradialne, a więc uwzględniające inny niż zaproponowany przez Farrella [1957] radialny sposób pomiaru odległości obiektu od granicy efektywności⁷. Różnicę między radialnym i nieradialnym pomiarem odległości obiektu od granicy efektywności obrazuje prosty przykład zilustrowany na rysunku 1.



Rysunek 1. Radialna i nieradialna miara odległości od granicy efektywności

Niech będzie dany obiekt P, który wytwarza jednostkowy wynik (oznaczony przez y), wykorzystując do tego dwa nakłady oznaczone przez x_1 oraz x_2 . Efektywny sposób przekształcania nakładów w wyniki (granica efektywności) jest wyznaczany na podstawie obiektów najlepszych (W oraz Z, które ten sam wynik uzyskują przy niższych nakładach). Przyjęto model zorientowany na nakłady⁸ oraz założenie o stałych efektach skali.

⁶ Postulaty te zostały uwzględnione w dalszej części opracowania (punkty 2 i 3).

⁷ Więcej o modelach radialnych i nieradialnych DEA na przykład w pracy: [Cooper, Seiford i Tone 2007].

⁸ Poszukiwana jest więc redukcja nakładów, dzięki której obiekt P znajdzie się na granicy efektywności.

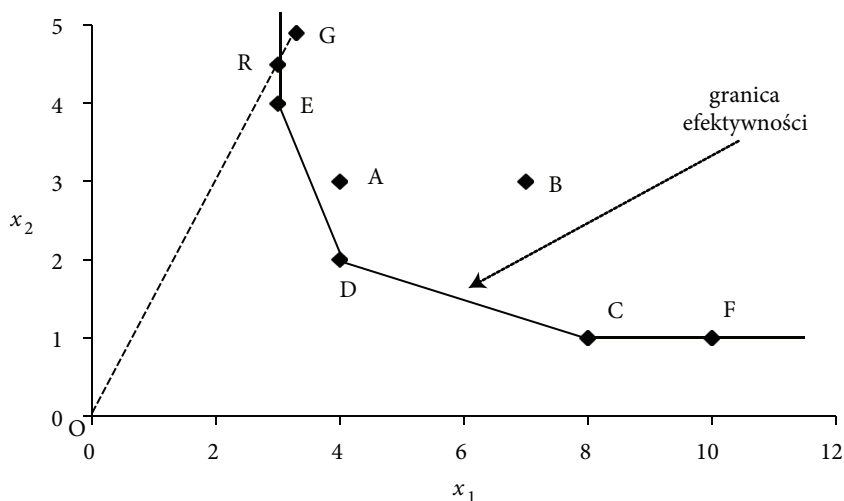
Na rysunku 1 obiekt P jest obiektem nieefektywnym, gdyż nie leży na granicy efektywności. Efektywność radialna to stosunek długości odcinka OQ do długości odcinka OP. Miara ta pokazuje, jak należy zredukować nakłady (x_1 oraz x_2), aby obiekt P stał się efektywny (a więc znalazł się na granicy efektywności). Efektywność radialna zakłada proporcjonalną redukcję wszystkich nakładów, stąd nazwa tego typu efektywności, gdyż redukcja odbywa się „po promieniu”, łączącym początek układu współrzędnych i analizowany punkt P. W taki sposób jest mierzona odległość w modelach radialnych DEA.

Oczywiście proporcjonalna redukcja obu nakładów (do współrzędnych punktu Q) nie jest dla obiektu P jedynym sposobem znalezienia się na granicy efektywności. W skrajnym wypadku obiekt P może zredukować tylko jeden nakład – x_1 lub x_2 – i znaleźć się wtedy odpowiednio w punkcie W lub Z. Może także dokonać redukcji obu nakładów, ale w sposób nieproporcjonalny (znajdzie się wtedy w punkcie leżącym na fragmencie granicy między punktami W i Z). Taki sposób redukcji nakładów jest nazywany nieradialnym, gdyż dokonywana redukcja nakładów nie jest proporcjonalna.

W badaniu będącym przedmiotem niniejszego opracowania zastosowano jeden z nieradialnych modeli DEA – model SBM (*Slacks-Based Measure*) z nadefektywnością [Tone 1997, 2002]. Pozwala on na wyznaczenie jednowymiarowej miary efektywności (tak, jak modele radialne), ale – podobnie jak inne modele nieradialne – jest pozbawiony wady, którą jest nieuwzględnianie niezerowych luzów w obliczanych wskaźnikach efektywności.

Wada ta jest cechą charakterystyczną modeli radialnych. Jeżeli luz dla danego nakładu nie jest zerowy, oznacza to, że można ten nakład zmniejszyć o wielkość luzu i nie wpłynie to na rozwiązanie zadania (a więc na wartość wskaźnika efektywności). Wskazuje to na ryzyko wystąpienia obiektu pozornie efektywnego. Obiekt taki leży na granicy efektywności, ale nadal zużywa więcej niż to konieczne jednego spośród nakładów. Taką sytuację obrazuje rysunek 2.

Warto przyjrzeć się bliżej jednostce F na rysunku 2. Leży ona na granicy efektywności, gdyż wykorzystuje minimalną wielkość nakładu x_2 . Jest więc efektywna. Wskaźnik efektywności wynikający z optymalnego rozwiązania modelu radialnego DEA dla tej jednostki wynosi 1,0. Jednakże w rozwiązaniu tym pojawia się dodatni luz związany z nakładem x_1 , który sugeruje, że można zredukować nakład x_1 o dwie jednostki bez zmiany wartości funkcji celu (a więc bez zmiany wskaźnika efektywności). Oznacza to, że obiektu F nie można nazwać silnie efektywnym, gdyż istnieje inny obiekt (C), zużywający do produkcji jednostki wyniku y tyle samo x_2 , ale o dwie jednostki mniej x_1 . W terminologii DEA jest to tak zwana słaba efektywność (zwana także



Rysunek 2. Efektywność w sensie Farrella

Źródło: Cooper, Seiford i Tone [2007, s. 57]

efektywnością w sensie Farrella), ponieważ nakłady obiektu F nie wymagają proporcjonalnej redukcji (znajduje się on bowiem na granicy efektywności).

Jednostka G jest z kolei nieefektywna zarówno w sensie słabej, jak i silnej efektywności. Jej nieefektywność farrellowską (słabą) odzwierciedla radialna odległość od granicy efektywności.

Jeżeli obiekt G zredukuje w radialny sposób oba swoje nakłady, to znajdzie się na granicy efektywności w punkcie R. Jednak punkt R nie jest silnie efektywny w sensie DEA, mimo że jest efektywny w sensie Farrella. Występuje tu ponownie słaba efektywność, gdyż w punkcie R luz związany z nakładem x_2 jest dodatni. Dopiero zredukowanie x_2 o wielkość tego luzu (a więc przesunięcie do punktu E) spowoduje, że obiekt G stanie się silnie efektywny w sensie DEA – jednak wskaźnik efektywności modelu radialnego DEA będzie równy ilorazowi długości odcinków OR/OG, a więc nie będzie zawierał informacji o dodatkowej nieefektywności wynikającej z niezerowego luzu.

Zastosowany w niniejszym badaniu nieradialny model SBM jest modelem tzw. niezorientowanym⁹, w którym wskaźnik efektywności uwzględnia niezerowe luzy zarówno po stronie nakładów, jak i wyników, a więc zawiera w sobie wszelkie informacje o wymaganej (w celu poprawy efektywności) redukcji nakładów i wymaganych zwiększeniu wyników¹⁰.

⁹ W modelach radialnych konieczne jest przyjęcie orientacji na nakłady lub na wyniki.

¹⁰ Obiekt F z rysunku 2 w świetle modelu SBM nie byłby już obiektem efektywnym.

W celu budowy rankingów pojazdów wykorzystano model SBM z nad-efektywnością¹¹, którego postać zapisano poniżej [Cooper, Seiford i Tone 2007, s. 316]:

$$\delta_o^{\text{SE-SBM}} = \min_{\phi, \psi, \lambda} \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \phi_{io}}{1 - \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \psi_{ro}} \quad (1)$$

przy warunkach:

$$\begin{aligned} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq o}}^n x_{ij} \lambda_{jo} - x_{io} \phi_{io} &\leq x_{io} \quad (i = 1, \dots, m), \\ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq o}}^n y_{rj} \lambda_{jo} + y_{ro} \psi_{ro} &\geq y_{ro} \quad (r = 1, \dots, s), \\ \phi_{io}, \psi_{ro}, \lambda_{jo} &\geq 0, \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie:

$\delta_o^{\text{SE-SBM}}$ – oznacza wskaźnik efektywności modelu SE-SBM dla badanego o -tego obiektu ($o = 1, \dots, n$),

x_{ij} – to i -ty nakład j -tego obiektu ($i = 1, \dots, m$),

y_{rj} – to r -ty wynik j -tego obiektu ($r = 1, \dots, s$),

λ_{jo} – współczynnik intensywności związany z j -tym obiektem wyznaczony dla analizowanego o -tego obiektu¹² ($j = 1, \dots, n$),

ϕ_{io} – wskazuje wymaganą procentową redukcję i -tego nakładu,

ψ_{ro} – wskazuje wymagane procentowe zwiększenie r -tego wyniku.

¹¹ Koncepcję nadefektywności zaproponowali Andersen i Petersen [1993]. Przy ustalaniu granicy efektywności nie jest brany pod uwagę obiekt, którego efektywność jest ustalana. Granica efektywności jest wtedy konstruowana tylko na podstawie pozostałych obiektów. Pozwala to na rangowanie także jednostek efektywnych, gdyż obliczane wskaźniki efektywności mogą być większe od 1 (modele bez nadefektywności nadają wszystkim obiektom efektywnym taką samą wartość wskaźnika równą 1).

¹² Wazona (współczynnikami λ_{jo}) suma nakładów (wyników) obiektów będących wzorcami dla badanego o -tego obiektu pokazuje zalecaną wartość nakładu (wyniku) o -tego obiektu, przy której stanie się on efektywny.

2. Przyjęte profile klienta

Dla zobrazowania możliwości, jakie daje proponowane podejście, przedstawiono wybrane trzy profile klienta (klient oszczędny, klient zainteresowany dynamiką pojazdu oraz klient ceniący bezpieczeństwo), które zaprezentowano poniżej. Należy jednak podkreślić, że modeli takich może być znacznie więcej – w zależności od przyjętych zestawów zmiennych.

Modele i zestawy zmiennych przyjęte w badaniu

Model 1: Oszczędność

benzyna/diesel, AB/CD

Metoda: DEA, SE -SBM

Nakłady:

- Cena

Wyniki:

- Spalanie_s
- Przyspieszenie_s
- Kubatura pojazdu
- Bezpieczeństwo
- Wycena wyposażenia dodatkowego zawartego w cenie

Model 2: Dynamika

benzyna/diesel, AB/CD

Metoda: DEA, SE -SBM

Nakłady:

- Cena

Wyniki:

- Moc
- V max
- Przyspieszenie_s
- Maksymalny moment obrotowy/Obroty (wskaźnik MMO/Obr)

Model 3: Bezpieczeństwo

benzyna/diesel, AB/CD

Metoda: DEA, SE -SBM

Nakłady:

- Cena

Wyniki:

- Wymiar pojazdu
- Liczba poduszek powietrznych
- Liczba systemów bezpieczeństwa
- Wynik w testach zderzeniowych – ang. *crash-testach* (ochrona dorosłych i dzieci – Euro NCAP)

Każdy z modeli obrazuje klienta o innym profilu. Wspólną cechą wszystkich trzech modeli jest to, że nie uwzględniają one emocji, którymi dodatkowo kierują się klienci. Prezentowane narzędzie może zatem posłużyć nie tylko sprzedawcom¹³, ale także samym klientom, którzy chcieliby wyelimi-

¹³ Doświadczony sprzedawca jest w stanie bardzo szybko ocenić profil potencjalnego klienta. Znajomość rankingów pojazdów z różnych punktów widzenia może znacząco przyspieszyć przygotowanie propozycji właściwej dla klienta o danym profilu.

nować wpływ emocji i oceniać pojazdy tylko z punktu widzenia zadanych cech.

Badana efektywność pojazdów jest efektywnością postrzeganą przez klienta, dlatego po stronie nakładów przyjęto w każdym z modeli tylko jedną zmienną – cenę pojazdu, ponieważ jest to nakład ponoszony przez klienta przy zakupie pojazdu¹⁴. Po stronie wyników ujęto zmienne, które mają odzwierciedlać dany profil klienta.

Model 1: Oszczędność

Przyjęto, że klient oszczędny wybierze samochód, który przy danej cenie oferuje:

- niskie spalanie – mierzone średnią liczbą litrów benzyny spalanych na 100 km w układzie mieszanym (jazda po mieście i poza obszarem zabudowanym)¹⁵,
- dobrą dynamikę – jako zmienną-reprezentanta wybrano przyspieszenie (liczba sekund do uzyskania prędkości 100 km/h)¹⁶,
- dużą przestrzeń – przyjętą zmienną nazwano kubaturą, gdyż na jej wartość składa się iloczyn długości, szerokości i wysokości samochodu (m^3) oraz pojemność bagażnika (m^3)¹⁷,
- wysoki poziom bezpieczeństwa – przyjęto zmienną syntetyczną, która jest sumą liczby poduszek powietrznych zamontowanych w pojeździe i liczby zainstalowanych systemów bezpieczeństwa¹⁸,

¹⁴ Zmienną, która byłaby w takim badaniu bardzo pożądana, jest także szacunkowy koszt (na przykład roczny) eksploatacji pojazdu. Jest to jednak zmienna niezmiernie trudna do oszacowania – powinna bowiem uwzględniać nie tylko koszty przeglądów okresowych pojazdu, ale także awaryjność, koszt części zamiennych używanych przy najczęściej pojawiających się usterkach oraz koszty ubezpieczenia (OC, AC), które różnią się ze względu na markę i model pojazdu.

¹⁵ Zmienna Spalanie jest destymulantą (pożądana jest jej jak najniższa wartość), a po stronie wyników w metodzie DEA powinny występować stymulanty. Zmieniono zatem charakter zmiennej na przeciwny (poprzez odjęcie jej wartości od stałej równej 10) i nadano jej nazwę „Spalanie_s”.

¹⁶ Pojazd o lepszym przyspieszeniu, będzie mieć większą moc, a tym samym wyższą prędkość maksymalną i zazwyczaj także wyższy wskaźnik MMO/Obr. Zmienna Przyspieszenie jest także destymulantą, została więc przekształcona w stymulantę poprzez odjęcie jej wartości od stałej równej 20 (przekształconej zmiennej nadano nazwę „Przyspieszenie_s”).

¹⁷ Warto zwrócić uwagę, że pojemność bagażnika jest już zawarta w iloczynie wymiarów pojazdu, ale dodana ją celowo, aby silniej podkreślić pojazdy, które mają wyjątkowo dużą pojemność bagażnika – często pojazdy o zbliżonych wymiarach znacząco różnią się pojemnością bagażnika (w zależności od tego, jak opracowano wnętrze pojazdu, jak składają się fotele itp.).

¹⁸ Zsumowano wszystkie systemy poza ABS (który zgodnie z obowiązującymi przepisami jest już obowiązkowym elementem w każdym sprzedawanym pojeździe), a więc systemy wspomagania hamowania, systemy kontroli trakcji itp.

- wycena wyposażenia dodatkowego zawartego w cenie – jest to suma wycenionych elementów z ustalonej listy wyposażenia dodatkowego¹⁹.

Model 2: Dynamika

Przyjęto, że klient nastawiony na tzw. osiągi pojazdu wybierze samochód, który przy danej cenie oferuje jak najlepsze parametry określające dynamikę pojazdu. Zmienną, która wymaga tu wyjaśnienia, jest obliczony na potrzeby tego badania wskaźnik „MMO/Obr”, który informuje o stosunku maksymalnego momentu obrotowego (MMO) do liczby obrotów silnika, przy których jest on dostępny (Obr). Jak wiadomo, w dynamicznym pojeździe jest pożądana wysoka wartość maksymalnego momentu obrotowego, ale najlepiej, jeśli jest dostępna przy niskich obrotach. Wskaźnik uzyskuje tym wyższą wartość, im większy jest licznik (maksymalny moment obrotowy) i mniejszy mianownik (obroty).

Model 3: Bezpieczeństwo

Przyjęto, że klient dbający o bezpieczeństwo wybierze samochód, który przy danej cenie wydaje się najbardziej bezpieczny. Jako cechy wpływające na bezpieczeństwo przyjęto:

- wymiar pojazdu²⁰,
- liczbę poduszek powietrznych, w które wyposażono pojazd²¹,
- liczbę systemów bezpieczeństwa,
- wynik w testach zderzeniowych (*crash-testach*) – przyjęto średnią z wyników ochrony dorosłych i dzieci – wyniki są publikowane na stronach Euro NCAP²².

¹⁹ Elementy, które są na wyposażeniu wszystkich badanych samochodów ustanowiły listę podstawową. Wszystkie pozostałe elementy (które występują tylko w niektórych pojazdach) stworzyły listę wyposażenia dodatkowego. Następnie sprawdzono, ile elementów z listy dodatkowej znajduje się na wyposażeniu danego pojazdu. Elementy te wyceniono, a wyceny zsumowano. Powstała unikatowa zmienna, która pokazuje, jaką wartość wyposażenia dodatkowego otrzymuje klient w cenie pojazdu.

²⁰ Przyjęto założenie, że większy pojazd jest bezpieczniejszy. W analizie wykorzystano zmienną syntetyczną „wymiar pojazdu”, będącą iloczynem długości, szerokości i wysokości pojazdu.

²¹ Poza poduszką kierowcy w samochodach mogą być: poduszki pasażera, poduszki kurtynowe czy też poduszki chroniące kolana kierowcy.

²² Organizacja Euro NCAP powstała w 1997 roku przy departamencie transportu w rządzie brytyjskim. Zajmuje się przeprowadzaniem crash-testów samochodów i obecnie zrzesza przedstawicieli siedmiu rządów europejskich oraz organizacje motoryzacyjne i konsumenckie; <http://www.euroncap.com>.

3. Obiekty poddane badaniu efektywności

W omawianym badaniu przeanalizowano łącznie 66 nowych (rocznik 2012) samochodów osobowych będących w ofercie przykładowego dealera samochodowego. Wzięto pod uwagę samochody małe (tzw. segment A i B) oraz średnie i duże (segment C i D) o silnikach zarówno benzynowych, jak i diesela. Wybierając modele do badania, przyjęto następujące wytyczne:

- wybierano pojazdy o podobnej mocy (w przypadku modeli w wersji kombi ujęto modele o nieco wyższej mocy),
- przyjęto możliwie najniższe wersje wyposażenia (głównie były to wersje podstawowe lub nieco wyższe – wszystkie pojazdy musiały mieć klimatyzację przynajmniej manualną),
- przyjęto ceny katalogowe producentów²³.

Dane pochodziły przede wszystkim z katalogów i cenników producentów pojazdów, a także z portali motoryzacyjnych euroncap.com oraz autocentrum.pl. Jeśli brakowało danych, odpowiedni pojazd był usuwany z badania²⁴.

Należy pamiętać, że badana metodami DEA efektywność jest efektywnością względną, co oznacza, że wskaźniki efektywności obiektów nieefektywnych są ustalane na podstawie jednostek wzorcowych (leżących na granicy efektywności). Stąd też ważne jest, aby analizować obiekty homogeniczne. Wybór obiektów powinien być zatem starannie przemyślany i oparty na wiedzy na temat analizowanego obszaru.

W badaniu intuicyjnie przyjęto podział na cztery grupy – ze względu na segment (A i B lub C i D) oraz typ silnika (benzyna lub diesel). Warto jednak wykorzystać także narzędzia wielowymiarowej analizy danych, takie jak analiza skupień czy analiza wariancji. W przypadku omawianego badania zarówno analiza skupień, jak i analiza wariancji potwierdziły słuszność intuicyjnie dokonanego podziału. Zastosowana jednoczynnikowa ANOVA (osobno dla zmiennych: cena, moc, spalanie, przyspieszenie, bezpieczeństwo, wymiar) wskazała na istotne różnice pomiędzy intuicyjnie wyodrębnionymi czterema podgrupami (statystyka F znacząco przekraczała wartość krytyczną przy pięcioprocentowym poziomie istotności)²⁵.

²³ Obowiązujące w okresie od czerwca do sierpnia 2012 roku.

²⁴ Zmienne, dla których występowały braki w danych to: Wynik w crash-testach oraz Wycena wyposażenia dodatkowego.

²⁵ Sytuacja, gdy średnie niektórych cech nie różniły się istotnie, występowała najczęściej dla podgrupy pojazdów benzynowych z segmentu A i B oraz podgrupy pojazdów z silnikiem diesela z segmentu A i B (np. dla cechy Wymiar pojazdu – co jest oczywiste).

Również zastosowana metoda Warda²⁶ (dla obiektów opisanych większością zmiennych, ujętych w badaniu²⁷) wskazuje na wyraźny podział na przyjęte powyżej podgrupy. Widać to na rysunku 3, który prezentuje dendrogram wygenerowany na podstawie wyników metody Warda.

Na dendrogramie widać podział na pojazdy małe i większe (jeśli przeciąć dendrogram na poziomie odległości równej 30), a także dalsze podziały ze względu na typ silnika, co uzasadnia intuicyjnie przyjęty podział badanej grupy, który postanowiono utrzymać²⁸.

Ostatecznie rankingi zbudowano dla pojazdów z segmentu C i D, gdyż po podzieleniu samochodów ze względu zarówno na segment, jak i typ silnika okazało się, że pojazdów z segmentu A i B jest 13 (benzyna) lub 8 (diesel), co przy łącznie pięciu zmiennych²⁹ w modelu nie spełnia wymogu minimalnej liczby obiektów badania, która wynosi [Cooper, Seiford i Tone 2007, s. 284]:

$$n \geq \max \{m \cdot s; 3 \cdot (m + s)\}, \quad (3)$$

gdzie:

m – liczba przyjętych w modelu DEA nakładów,

s – liczba przyjętych wyników.

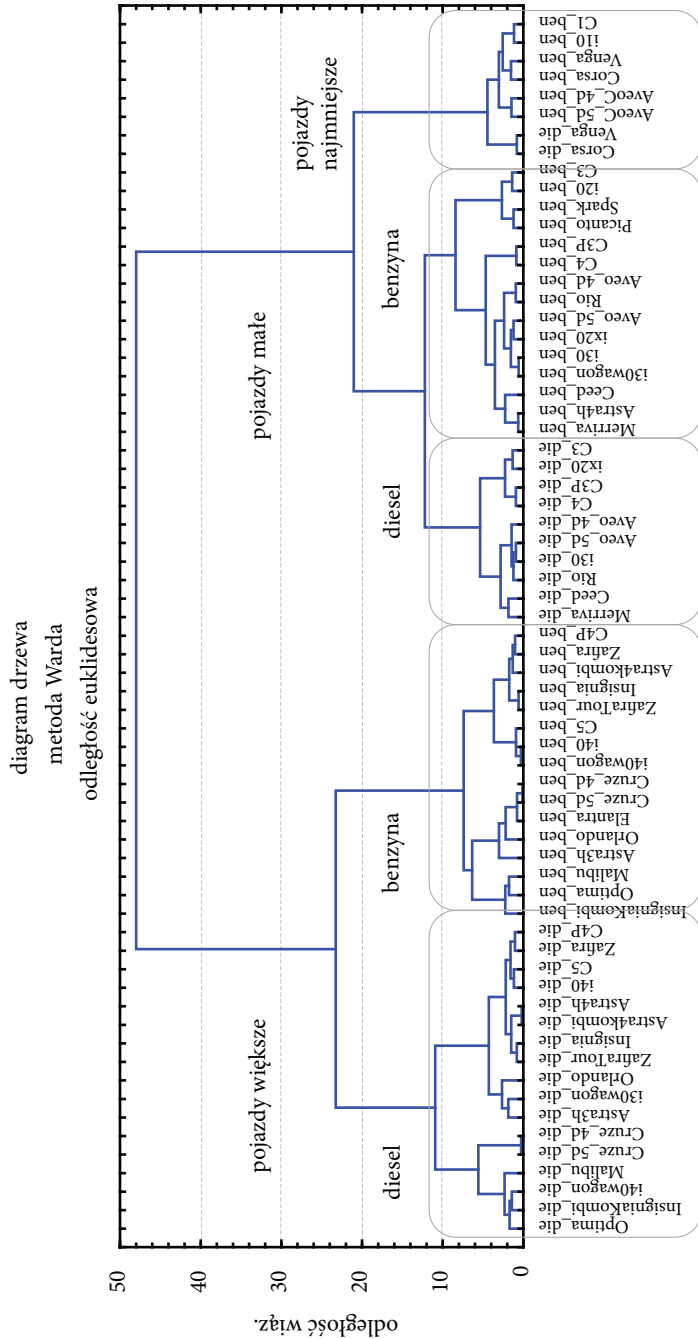
Warunek ten nie jest konieczny dla rozwiązania modelu (1)–(2), ale prowadzenie analizy przy zbyt małej liczbie obiektów zmniejsza moc dyskryminacyjną metody DEA [Adler i Yazhemsky 2010]. Przejawia się to przeszacowaniem wartości wskaźników efektywności i zwiększeniem liczby obiektów efektywnych.

²⁶ Jedna z metod analizy skupień.

²⁷ Wzięto pod uwagę te zmienne, dla których dane występowały dla wszystkich 66 pojazdów.

²⁸ Skupienia sugerowane przez metodę Warda są mało liczne – największe skupienie zawierało 17 obiektów, co jest liczebnością zbyt małą dla poprawności analizy DEA – patrz wzór (3). Przeprowadzona dodatkowo analiza skupień metodą k -średnich ($k = 5$) potwierdza poprawność intuicyjnie przyjętego podziału – wśród pięciu skupień znalazły się dwa mniej liczne skupienia pojazdów małych (segment A i B) o silniku benzynowym lub diesla, jedno skupienie obejmujące większe pojazdy (z segmentu C i D) o silniku benzynowym oraz dwa skupienia pojazdów z silnikiem diesla z segmentu C i D (różniące się tylko ze względu na zmienne charakteryzujące dynamikę pojazdu).

²⁹ Lub sześciu zmiennych w przypadku Modelu 1: Oszczędność.



Rysunek 3. Dendrogram metody Warda

Źródło: Opracowanie własne z wykorzystaniem pakietu STATISTICA

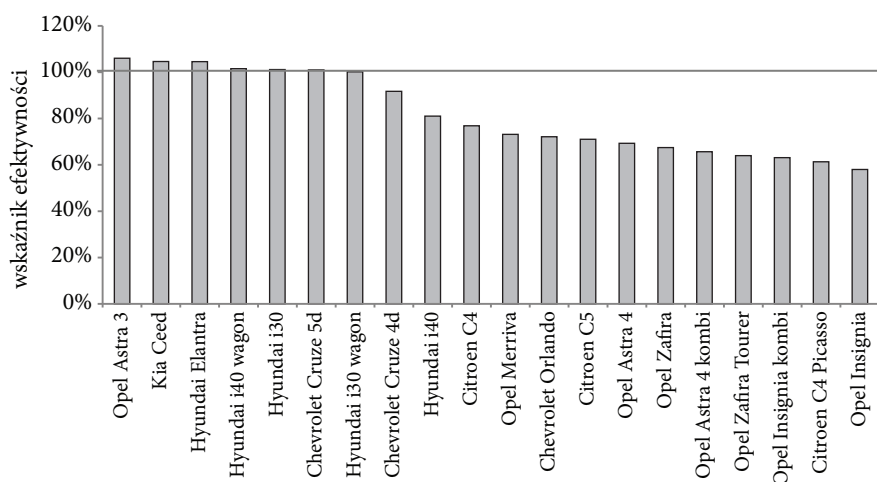
4. Rezultaty badania empirycznego

Poniżej omówiono rankingi zbudowane na podstawie przyjętych trzech modeli profilu klienta (zawarte na s. 12). Na szczycie rankingu znalazły się pojazdy, którymi w pierwszej kolejności powinien się zainteresować klient danego profilu (lub które przede wszystkim w swojej ofercie powinien umieścić sprzedawca obsługujący danego klienta). Ze względu na obszerność badania, przedstawiono wyniki tylko dla pojazdów benzynowych.

Model 1: Oszczędność

W pierwszym analizowanym profilu przyjęto, że klient oszczędny będzie poszukiwał pojazdu w korzystnej cenie, którego poziom spalania będzie możliwie najniższy, ale który równocześnie zaoferuje dobrą dynamikę, przestrzeń wewnątrz pojazdu oraz możliwie najwyższy poziom bezpieczeństwa. Oczywiście należy mieć świadomość, że na przykład niskie spalanie będzie pociągało za sobą słabszą dynamikę pojazdu. W profilu tym poszukiwany jest zatem samochód, który będzie kompromisem pomiędzy parametrami ważnymi dla klienta oszczędnego.

Ranking 20 samochodów (z analizowanej grupy 22 samochodów benzynowych z segmentu C i D)³⁰ wraz z uzyskanymi przez pojazdy wskaźnikami efektywności przedstawiono na rysunku 4.



Rysunek 4. Model 1: Oszczędność

³⁰ Dwa pojazdy (Chevrolet Malibu, Kia Optima) zostały wyłączone z badania z uwagi na brak danych dla zmiennej Wycena wyposażenia dodatkowego zawartego z cenie pojazdu.

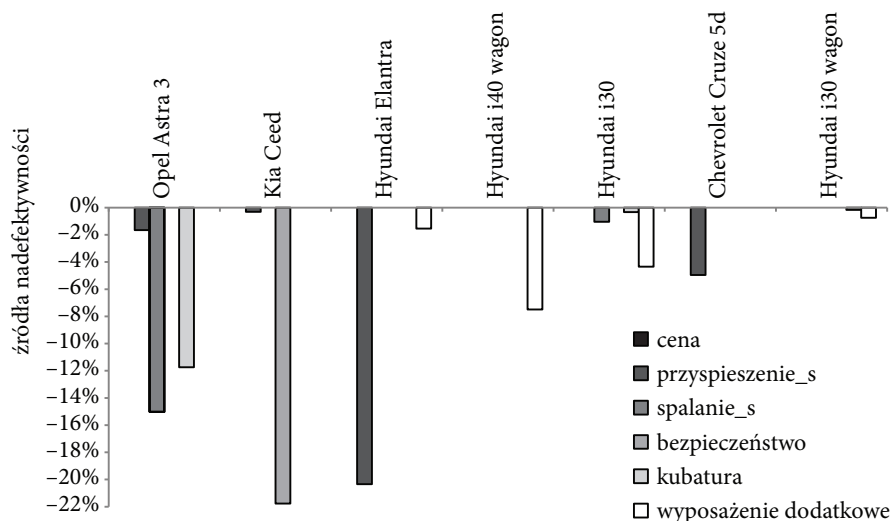
W badanej grupie jest siedem pojazdów efektywnych, a więc tych, dla których wskaźnik efektywności jest większy lub równy 100%.

Pojazdem, którym w pierwszej kolejności powinien zainteresować się klient oszczędny jest Opel Astra 3. Jest to pojazd, który jest doskonałym kompromisem pomiędzy ceną a poziomem spalania, dynamiką, przestrzenią wewnątrz pojazdu i bezpieczeństwem.

Warto jednak zwrócić uwagę, że Opel Astra 3 jest jedynym oplem wśród pojazdów efektywnych. Grupę tę zdominowały pojazdy koreańskie marki Hyundai. Znalazł się tam także jeden model marki Kia i jeden model Chevroleta. Badanie potwierdza ogólnie panujące przekonanie, że producenci aut koreańskich postawili sobie za cel oferowanie dobrych pojazdów (mogących konkurować pod względem różnych parametrów z innymi markami) w atrakcyjnej cenie. Również Chevrolet przyjął taką strategię działania.

Metoda DEA oferuje jednak znacznie więcej niż tylko możliwość oceny efektywności obiektów w danej grupie i konstrukcji rankingów. Można bowiem przyrzeć się szczegółowo każdemu z pojazdów pod kątem konkretnej opisującej go zmiennej. Zastosowanie nieradialnego modelu SBM pozwala na uzyskanie informacji o źródłach nadefektywności obiektów efektywnych oraz źródłach nieefektywności pojazdów, które znalazły się poniżej granicy efektywności. Ilustrują to odpowiednio rysunki 5 oraz 6.

Na rysunku 5 siedem pojazdów efektywnych przedstawiono w kolejności zgodnej z miejscem w rankingu. Wartości na osi rzędnych to współczynniki



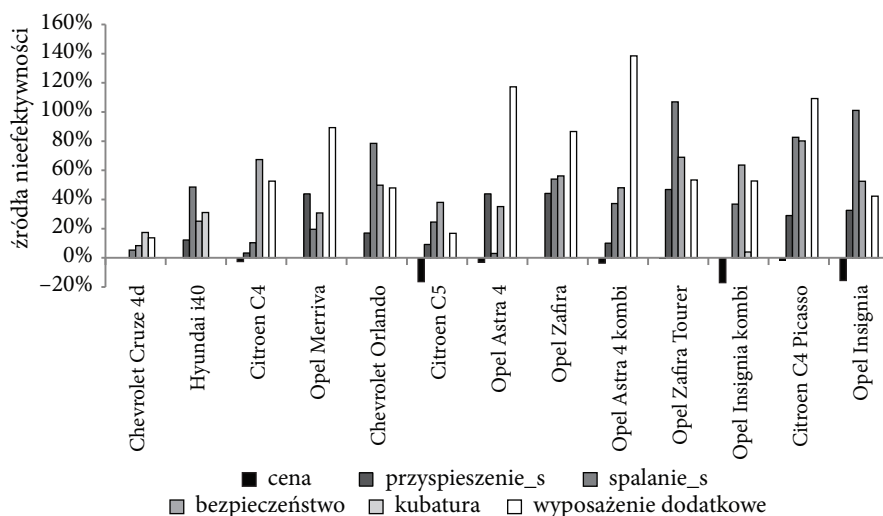
Rysunek 5. Model 1: Oszczędność – źródła nadefektywności

ϕ_{io} oraz ψ_{ro} ³¹, które pokazują o ile procent średnio dany pojazd mógłby odpowiednio zwiększyć swój nakład (czyli cenę) lub zmniejszyć swoje wyniki (patrz s. 12) i nadal zachować status obiektu efektywnego.

W przypadku każdego badanego pojazdu możliwe zwiększenie ceny wynosi 0%, a więc podniesienie ceny nie jest zalecane. Wartości ujemne dla pozostałych zmiennych wskazują, w ramach którego parametru dany model samochodu uzyskuje swoją wysoką pozycję. Wspomniany Opel Astra 3 mógłby pogorszyć wartość zmiennej Spalanie_s aż o 15%. Podobnie z przestrzenią wewnątrz pojazdu (Kubatura), która mogłaby być mniejsza o ponad 11%, a pojazd nadal byłby efektywny. Oznacza to, że na tle pozostałych badanych samochodów atutami Opla Astry 3 jest niskie spalanie oraz duża przestrzeń wewnątrz pojazdu. W podobny sposób można analizować pozostałe obiekty.

Wnikliwy klient może zatem uzyskać dodatkowe informacje o interesujących go pojazdach. Jeżeli szuka pojazdu oszczędnego (w rozumieniu Modelu 1), ale najbardziej ze wszystkich parametrów ceni sobie na przykład bezpieczeństwo, to wybrałby Kię Ceed, która jest efektywna, a więc gwarantuje dobry stosunek ceny do pozostałych parametrów i dodatkowo oferuje wysoki poziom bezpieczeństwa (najwyższa liczba poduszek powietrznych i zainstalowanych w pojeździe systemów bezpieczeństwa).

Rysunek 6 ilustruje z kolei źródła nieefektywności obiektów, które w przeprowadzonym badaniu znalazły się poniżej granicy efektywności. Wartości ϕ_i



Rysunek 6. Model 1: Oszczędność – źródła nieefektywności

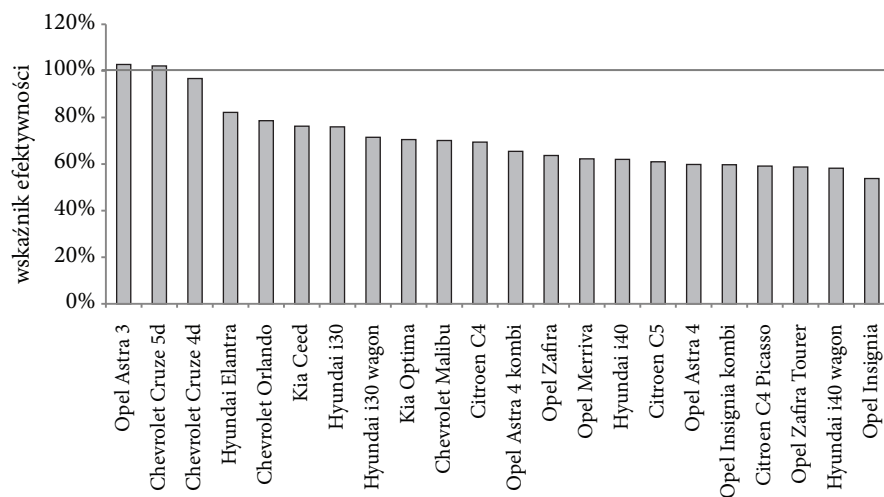
³¹ Patrz: model (1)–(2).

oraz ψ_r na osi rzędnych wskazują tym razem o ile procent należałoby odpowiednio obniżyć cenę pojazdu lub zwiększyć wartości poszczególnych parametrów po stronie wyników, aby pojazd uzyskał status obiektu efektywnego. Ponownie pojazdy uporządkowano według miejsca w rankingu.

Analiza źródeł nieefektywności pozwala zidentyfikować parametry danego samochodu, które są najsłabsze w porównaniu z pozostałymi pojazdami. Na przykład nieefektywność Citroena C4 wynika przede wszystkim ze zbyt niskiej wartości zmiennej Bezpieczeństwo, która powinna być wyższa o ponad 65%, aby pojazd zbliżył się do granicy efektywności. Ponadto wyniki analizy sugerują, że wycena wyposażenia dodatkowego zawartego w cenie (zmienna Wyposażenie dodatkowe) jest zbyt niska. Oznacza to, że – w porównaniu z pojazdami efektywnymi – Citroen C4 przy swojej cenie powinien oferować bogatsze wyposażenie (wartość wyposażenia dodatkowego powinna być wyższa o ponad 50%).

Model 2: Dynamika

Ranking w ramach Modelu 2 przygotowano dla klienta, który zwraca uwagę przede wszystkim na dynamikę pojazdu. Z powodu ograniczonej objętości opracowania rezultaty badania empirycznego dla Modelu 2 i Modelu 3 omówiono w skrócie³². Na rysunku 7 przedstawiono ranking 22 pojazdów ze względu na przyjęty w Modelu 2 profil klienta.



Rysunek 7. Model 2: Dynamika – ranking pojazdów

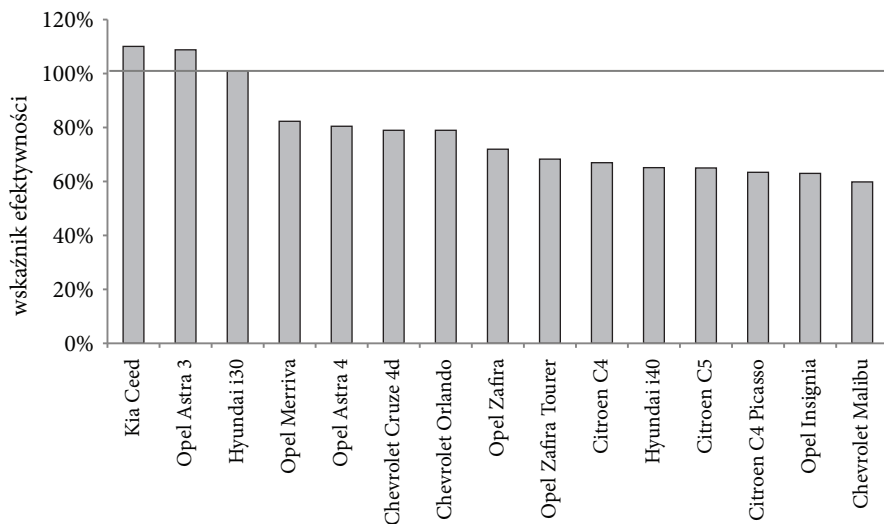
³² Zarówno w Modelu 2, jak i w Modelu 3 można przeprowadzić równie szczegółową analizę jak w przypadku opisanego wcześniej Modelu 1.

Klientowi, który poszukuje pojazdu dynamicznego, warto zatem zaoferować przede wszystkim Opla Astrę 3 lub Chevroleta Cruze w wersji pięciodrzwiowej (wskaźniki efektywności wynoszą odpowiednio 102,73% oraz 102,09%). Są to samochody, które na tle pozostałych pojazdów oferują najlepszy stosunek parametrów dynamiki do ceny.

Warto zauważyć, że poza modelem Astra 3 modele marki Opel znajdują się w dolnej części rankingu. Analizując (analogicznie jak w Modelu 1) źródła nieefektywności, okazuje się, że wszystkie modele Opla poza Zafirą mają zbyt wysoką cenę w stosunku do oferowanych osiągnięć³³. Astra 3 oraz Zafira to modele starszej generacji, które nadal są w sprzedaży, ale ich następcami są sprzedawane już także Astra 4 oraz Zafira Tourer. Modele starsze są więc sprzedawane w atrakcyjniejszej cenie, co widać wyraźnie w rezultatach przeprowadzonego badania.

Model 3: Bezpieczeństwo

Prezentowany na rysunku 8 ranking z punktu widzenia bezpieczeństwa opracowano dla 15 pojazdów³⁴.



Rysunek 8. Model 3: Bezpieczeństwo – ranking pojazdów

³³ Aby zbliżyć się do granicy efektywności, modele te musiałyby cechować się ceną przynajmniej o 30% niższą.

³⁴ Siedem pojazdów zostało wyłączonych z badania z powodu braku danych dla zmiennej Wynik w testach zderzeniowych (ochrona dorosłych i dzieci – Euro NCAP).

Pod względem bezpieczeństwa najlepszym pojazdem okazała się Kia Ceed, która jest wyposażona w największą liczbę poduszek bezpieczeństwa (6) i największą liczbę systemów bezpieczeństwa (8), a przy tym charakteryzuje się bardzo atrakcyjną ceną (tańszy jest tylko Opel Astra 3 oraz Hyundai i30). Wynik w testach zderzeniowych także okazał się bardzo dobry (0,885 przy maksymalnym wyniku 0,90 i minimalnym 0,79).

Na drugim miejscu w rankingu znalazł się Opel Astra 3, który swoją pozycję osiągnął przede wszystkim dzięki atrakcyjnej cenie (najtańszy pojazd w badanej grupie) i wysokiemu wynikowi w testach zderzeniowych (0,87). Szczegółowa analiza źródeł nadefektywności wskazuje, że przy posiadanej liczbie poduszek powietrznych (4) i systemów bezpieczeństwa (5), których jest stosunkowo mało³⁵ w porównaniu z innymi pojazdami, Opel Astra 3 mógłby mieć niższy wynik w testach zderzeniowych nawet o 10% i nadal zachowałby status jednostki efektywnej. Wskazywałoby to na dobrą konstrukcję samego pojazdu³⁶, który mimo mniejszej liczby poduszek i systemów bezpieczeństwa w testach zderzeniowych wypada dobrze.

Pojazdem godnym uwagi klienta ceniącego bezpieczeństwo powinien być także Hyundai i30, który przy 6 poduszkach powietrznych i jedynie 5 systemach bezpieczeństwa (Kia Ceed ma ich aż 8) charakteryzuje się najwyższym wynikiem w testach zderzeniowych (0,90) i bardzo atrakcyjną ceną (drugi najtańszy pojazd w badanej grupie).

Podsumowując omawiane rezultaty badania empirycznego, można również zebrać wnioski z poszczególnych części badania i wyłonić samochód, który wypada dobrze w każdej kategorii. W przypadku analizowanej grupy pojazdów samochodem takim wydaje się Opel Astra 3.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono propozycję narzędzia wsparcia w procesie podejmowania decyzji o zakupie samochodu, pozwalające na obiektywne porównanie pojazdów. Narzędzie to może być również wykorzystywane przez sprzedawców – usprawniając proces przygotowania oferty dla konkretnego klienta.

³⁵ Jak już wspomniano, Opel Astra 3 jest modelem starszej generacji, wyposażonym w mniejszą liczbę poduszek powietrznych i systemów bezpieczeństwa niż nowszy model – Astra 4.

³⁶ Jakość wykonania, wykorzystane materiały, odpowiednio zaprojektowane strefy zgniotu itp.

Zastosowanie proponowanej metody przedstawiono na przykładzie analizy porównawczej wybranej grupy samochodów osobowych. Celem badania było wyłonienie pojazdów, które najlepiej będą odpowiadać klientom o danym profilu. Wybrano w tym celu trzy przykładowe profile klienta: oszczędny, zainteresowany dynamiką pojazdu, ceniący bezpieczeństwo.

Przeprowadzone badania pozwalają na wstępną ocenę metody DEA. Wadą metody DEA jest to, że nie daje wiarygodnych rezultatów w przypadku zbyt małej liczby obiektów poddanych badaniu (należy zatem zadbać o odpowiednią liczebność grupy). Ponadto zastosowanie radialnych modeli DEA stwarza ryzyko uznania obiektu nieefektywnego za efektywny (efektywność w sensie Farrella – rysunek 2). Warto jednak przypomnieć, że tej wady nie mają modele nieradialne³⁷.

Zaletą metody DEA jest budowanie rankingu obiektów na podstawie efektywności przekształcania nakładów w wyniki. Cechy opisujące dany obiekt są ważone w taki sposób, aby na wskaźnik efektywności najsilniej wpływały te cechy, które są źródłem przewagi konkurencyjnej danego obiektu nad pozostałymi jednostkami w grupie. Ponadto zastosowanie nieradialnego modelu SE-SBM pozwala nie tylko na budowę rankingu, ale także na szczegółową analizę źródeł nadefektywności i nieefektywności badanych jednostek.

W ramach dalszych badań sugeruje się poszukiwanie nowych profili, które mogłyby odzwierciedlać inne preferencje klientów. Równocześnie warto poszukać możliwości dodania nowych zmiennych do profili już istniejących. Warto byłoby dodać zmienne szczególnie po stronie nakładów (jak już wspomniano, poza ceną, którą klient płaci za samochód, należałoby uwzględnić szacunkowe koszty eksploatacji pojazdu).

Bibliografia

- Adler, N., Yazhemsky, E., 2010, *Improving Discrimination in Data Envelopment Analysis: PCA-DEA or Variable Reduction*, European Journal of Operational Research, no. 202.
- Andersen, P., Petersen, N.C., 1993, *A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis*, Management Science 39 (10).
- Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., 1978, *Measuring the Efficiency of Decision Making Units*, European Journal of Operational Research, vol. 2, no. 6.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K., 2007, *Data Envelopment Analysis. A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, Springer.

³⁷ Takie jak zastosowany w badaniu model SBM.

- Domagała, A., 2012, *Efektywność samochodów osobowych oraz perspektywy rozwoju sprzedaży pojazdów o alternatywnych jednostkach napędowych*, w: Borodako, K., Nowosielski, M. (red.), *Foresight w przedsiębiorstwach: Nauka – technologia – wdrożenie*, Instytut Zachodni, Poznań.
- Farrell, M.J., 1957, *The Measurement of Productive Efficiency*, The Journal of the Royal Statistical Society, Series A, no. 120 (III).
- Oh, I., Lee, J-D., Hwang, S., Heshmati, A., 2010, *Analysis of Product Efficiency in the Korean Automobile Market from a Consumer's Perspective*, Empirical Economics, vol. 38, no. 1.
- Papahristodoulou, Ch., 1997, *A DEA Model to Evaluate Car Efficiency*, Applied Economics, no. 29.
- Staat, M., Hammerschmidt, M., 2005, *Product Performance Evaluation – A Super-Efficiency Model*, International Journal of Business Performance Management, vol. 7, no. 3.
- Tone, K., 1997, *A Slack-based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis*, Research Reports, Graduate School of Policy Science, Saitama University; opublikowane w: European Journal of Operational Research no. 130, 2001.
- Tone, K., 2002, *A Slacks-based Measure of Super-efficiency in Data Envelopment Analysis*, European Journal of Operational Research, no. 143.