

ALEKSANDRA CIASTOŃ-CIULKIN
dr inż., Politechnika Krakowska,
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków,
tel.: +48 12 628 3096, email:
aciaston-ciulkin@pk.edu.pl

ILONA DUDA
mgr inż., Absolwentka Politechniki
Krakowskiej, kierunek Transport,
tel.: +48 500384289, email:
ilonaduda225@gmail.com

KONCEPCJA „ECO-DRIVINGU” W UJĘCIU TEORETYCZNYM¹

Streszczenie: Artykuł przedstawia rozważania na temat zagadnienia „eco-drivingu” i jego znaczenia w optymalizowaniu wielkości zużycia paliwa w ruchu drogowym. Zostały przedstawione szerokie opracowania dotyczące samej terminologii „eco-drivingu”, ale również określonych w literaturze przedmiotu czynników mających wpływ na zmniejszenie zużycia paliwa. W artykule przedstawiono również zasady „eco-drivingu” zdefiniowane przez dwa zespoły badawcze: niemiecki i japoński. Uzupełnieniem rozważań w tym temacie jest zilustrowanie podejmowanych w kraju działań prawnych, jak również promocyjnych służących propagowaniu koncepcji „eco-drivingu” w praktyce.

Słowa kluczowe: eco-driving, ekojazda, energooszczędność, ekologiczna jazda, ekonomiczna jazda, energooszczędna jazda.

Wprowadzenie

„Eco-driving” jest terminem zaczerpniętym z języka angielskiego. Rozwijając przedrostek *eco* na wstępie można utworzyć słowo *ecology*, czyli ekologia oraz *economy* – ekonomia [1]. Nie bez przyczyny dany przedrostek znajduje się w połączeniu z rzeczownikiem *driving* oznaczającym jazdę. Rozważając określenie *ecology driving*, jednoznacznie można zinterpretować je jako ekologiczna jazda, jednak w szerszym ujęciu można rozumieć je jako jazdę dla środowiska czy kierowanie pojazdem w sposób zmniejszający emisję substancji szkodliwych do otoczenia, w tym dwutlenku węgla. Z kolei pojęcie *economy driving* oznacza ogólnikowo ekonomiczną jazdę, czyli jazdę przynoszącą korzyści ekonomiczne, kierowanie pojazdem w sposób zmniejszający zużycie nośników energii, a co za tym idzie oszczędny. Występuje zatem wieloznaczność danego terminu, co skutkuje pojawianiem się w literaturze synonimów takich jak: „ekologiczna jazda”, „ekonomiczna jazda”, „energooszczędna jazda” lub bezpośrednio w spolszczonej wersji „ekojazda”. Zasadniczo ekologiczna oraz ekonomiczna jazda są ze sobą znacząco powiązane ze względu na to, iż mniejsze zużycie paliwa powoduje redukcję kosztów paliwowych, ogólny wzrost korzyści ekonomicznych dla użytkowników pojazdów drogowych, jak i zmniejszenie emisji dwutlenku węgla wydzielanego z silników spalinowych do atmosfery.

Termin „eco-drivingu” w literaturze

W literaturze polskiej, jak i obcojęzycznej, istnieje wiele definicji pojęcia „eco-driving”. W większości przypadków definicje te są zbliżone do siebie, niekiedy jednak różnorodne ze względu na aspekt korzyści oraz uwzględnionych zachowań wymiernych z punktu widzenia autora. Najwięcej definicji zbliżonych jest do określenia ekojazda, jako zbiór

różnorodnych zasad opisujących najlepsze ekologiczne i ekonomiczne wykorzystanie możliwości pojazdów [2]. Nie ulega wątpliwości, iż jest to jedno z prostoliniowych określeń danego terminu, ale podkreśla wymiar ekologicznych i ekonomicznych korzyści stosowania zasad „eco-drivingu”. Według innej definicji ekojazda to inteligentny sposób jazdy, wywierający wpływ na redukcję zużycia paliwa, zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i liczby wypadków [3]. W sformułowaniu tym podkreślony został również aspekt związany z bezpieczeństwem drogowym. Z kolei według P. Grzelak, ekojazda to nowy sposób jazdy, który umożliwia zwiększenie wykorzystania zaawansowanych a stosowanych w pojazdach technologii przy równoczesnej poprawie bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Biorąc pod uwagę wyróżnienie człowieka kierowcy jako głównego decydenta podczas jazdy, „eco-driving” został sprecyzowany jako proces podejmowania decyzji przez osobę kierującą pojazdem, wpływający na zużycie nośników energii oraz poziom emisji spalin z pojazdu, aby zmniejszyć negatywny wpływ na środowisko [4]. Schoettle i Sivak w swojej definicji „eco-drivingu” podejmowane decyzje doprecyzowują, mówiąc, iż są to decyzje podejmowane przez kierowcę, zarówno przed kupnem pojazdu – określane jako decyzje strategiczne (wybór samochodu), jak i po jego nabyciu – sformułowane jako decyzje taktyczne (przewidywanie i planowanie tras) oraz postanowienia operacyjne (technika jazdy) wpływające na redukcję zużycia paliwa. Ponadto, zdaniem autorów, skutek podjętej decyzji o wyborze pojazdu jest dominujący nawet nad techniką jazdy kierowcy².

Przytoczone definicje idei ekojazdy określają rozmaite wymiary korzyści, zidentyfikowane przez twórców sformułowań pojęcia. Niezaprzeczalnie najczęściej pojawiającymi się określeniami są ekonomiczny i ekologiczny styl jazdy. Trzeba zwrócić uwagę, iż nie do końca pojęcia te ze sobą korelują. Bideaux i inni za pomocą przeprowadzonych badań udowodnili, iż ekonomiczna jazda wynika przede wszystkim z odpowiedniego doboru prędkości i przyspieszenia. Z kolei emisja zanieczyszczeń redukuje się poprzez poprawne dostosowanie biegów, analogicznie pracę układu napędowego. Ponadto podczas eksperymentu zauważono dysonans pomiędzy ekologiczną a ekonomiczną techniką jazdy. Zaobserwowano, iż optymalna prędkość, inaczej mówiąc stała prędkość jazdy, zmniejsza konsumpcję paliwa, jednak

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2023. Wkład autorów w publikację: A. Ciastoń-Ciulkin 50%, I. Duda 50%.

² Wyniki pokazują, iż zwykły pojazd dostępny w sprzedaży w USA jest dziewięć razy mniej oszczędny niż efektywny samochód powodujący najmniejsze zużycie paliwa. Dodatkowo decyzje podejmowane po zakupie pojazdu związane typowo ze stylem jego jazdy mogą powodować zmniejszenie zużycia paliwa nawet o 45% [54].

jazda ekonomiczna nie jest do końca ekologiczna. Za pomocą pomiarów emisji substancji szkodliwych w postaci gazów CO_2 , CO , HC oraz NO_x na hamowni udowodniono, iż ekologiczny styl jazdy nie zawsze można nazwać ekologicznie optymalnym. Pomimo spadku emisji dwutlenku węgla wzrasta emisja tlenu węgla i węglowodorów, czego przyczyną może być wysoki moment obrotowy [5]. Ponadto ekonomiczna jazda jest aspektem szerszym w stosunku do ekologicznej, ze względu na podejmowanie stylu jazdy redukującego zużycie paliwa i w dodatku wydłużającego żywotność podzespołów pojazdu.

Zmienne wpływające na zużycie paliwa

Aby móc formułować prawidłowe zasady dotyczące ekof jazdy, naukowcy muszą przeprowadzić szereg badań pozwalających określić, jakie parametry jazdy lub inne zmienne przynoszą wymierne efekty w postaci między innymi zmniejszonego zużycia paliwa. Według badań jednych autorów [6] stopień zużycia nośników energii przez pojazd w większości zależy od konstrukcji pojazdów oraz systemów i urządzeń w nich zaimplementowanych, zachowania kierowcy czy warunków pogodowych i panujących na drodze. Ahn i inni zauważyli, iż na stopień zużycia paliwa wpływ, poza wyżej wymienionymi, mają również zmienne związane z drogą oraz podróżą [7]. Poglądowo dany podział został przedstawiony na rysunku 1.

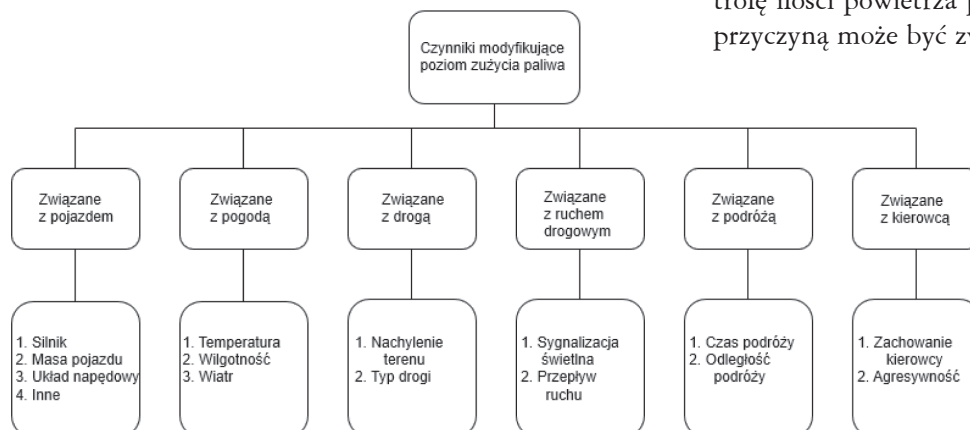
Odnosząc się wyłącznie do samochodów, występuje wiele możliwości polepszenia oszczędności paliwowej, to znaczy istnienie zaawansowanych technologicznie silników i pojazdów czy systemów wspomagania kierowcy. Wymienione czynniki przyczyniają się do redukcji zużycia paliwa, w tym nowe technologie silników o 4–8%, natomiast nowe technologie pojazdów o 2–8% [8]. Z kolei, biorąc pod lupę działanie kierowcy w czasie jazdy, zauważyć można, iż jest to priorytetowy czynnik pozwalający osiągnąć efektywność paliwową. Jak wykazują badania, ekonomiczny styl jazdy pozwala na poprawę zużycia paliwa z zakresu 15–25%, co dotyczy pojazdów z silnikiem spalinowym [9, 6, 8].

Inaczej kształtują się dane wartości w odniesieniu do samochodów, które odzyskują energię z hamowania, czyli z napędem elektrycznym czy hybrydowym. To właśnie w głównej mierze zachowanie kierowcy ma wpływ na poprawienie się ekonomiczności paliwowej w tego typu pojazdach, dlatego

też osiągi z zastosowania odpowiedniego stylu jazdy są zdecydowanie większe. W literaturze zagranicznej odnaleźć można wyniki badań dowodzące, iż ekof jazda przyczynia się do redukcji zużycia nośników energii do około 25% w pojazdach akumulatorowo-elektrycznych, minimalizując konieczność zwiększania dopuszczalnie możliwej pojemności akumulatora [10, 6]. Ponadto kilka badań wykazało, iż w przypadku samochodów hybrydowych kontrast pomiędzy działaniami kierowcy powoduje różnicę dochodzącą 50% w zużyciu paliwa [6].

Moc silnika, jego wielkość, jak również jakość stosowanego paliwa oraz oleju silnikowego, czy wyposażenie pojazdu w urządzenia powiązane bezpośrednio z silnikiem, przyczyniają się do wystąpienia modyfikacji w zużyciu paliwa [8]. Odpowiedniej jakości nośniki energii zawierają przede wszystkim wysokiej wartości dodatki uszlachetniające, usuwające osad we wnętrzu silnika, co powoduje utrzymanie jego wydajności na odpowiednim poziomie oraz efektywny proces spalania. Według Andrzeja Husiatyńskiego, kierownika działu technicznego w Total Polska, paliwo w odpowiedni sposób miesza się z powietrzem, gdy oczyszczony z osadów zostanie układ dolotowy, tłokowo-cylindrowy oraz wtryskiwacze. Zatem wybór paliwa wysokiej jakości nie tylko zwiększy żywotność silnika, ale również zagwarantuje optymalny proces spalania [11]. Biorąc z kolei pod uwagę to, iż w trakcie spalania paliwa część wytworzonej energii jest tracona w procesie tarcia, wpływ na efektywność paliwową ma odpowiedniej jakości olej silnikowy. Jeżeli jego właściwością jest niski współczynnik tarcia, to opory toczenia zmniejszają się, co ogranicza zapotrzebowanie na energię paliwową. Występują sytuacje, kiedy tarcie ma mniejsze lub większe znaczenie dla poziomu zużycia nośników energii, na przykład podczas próby uruchomienia nierozgrzanego silnika. Wtedy to opór ruchu jest dynamiczny, gdyż wyższa jest lepkość oleju i niska temperatura. Optymalne są oleje o niewielkich oporach wewnętrznych, które redukują opory ruchu w silniku, a co za tym idzie stopień zużycia paliwa [12].

Z kolei do elementów bezpośrednio powiązanych z silnikiem, wpływających na zmianę zużycia paliwa, należą: filtr powietrza, termostat, przepływomierz, sonda lambda czy czujnik MAP (*Manifold Absolute Pressure*), czyli czujnik ciśnienia bezwzględego w kolektorze [11]. Przykładowo, wadliwy przepływomierz uniemożliwia odpowiednią kontrolę ilości powietrza przedostającego się do silnika, czego przyczyną może być zwiększone spalanie. Co więcej, anali-



Rys. 1. Szczegółowe czynniki mające wpływ na zużycie nośników energii przez pojazd
Źródło: opracowanie własne na podstawie [8]

zując wpływ czynników ze strony samego pojazdu na efektywność paliwową, niezbędne jest wyposażenie samochodu w układ oczyszczania spalin oraz układ zasilania silników Diesla – system *Common Rail*, pozwalający w sposób niezależny od obrotów silnika osiągać stałe i wysokie ciśnienie. Zadaniem układu oczyszczania spalin jest przede wszystkim redukcja emisji szkodliwych substancji wydzielanych z pojazdu do atmosfery. Do jego realizacji przyczyniają się elementy układu, takie jak katalizator czy filtr cząstek stałych, ale także wprowadzony z zewnątrz płyn *Adblue*, czyli wodny roztwór mocznika [13].

Analizując elementy samochodu wpływające na zmianę spalania, warto przyjrzeć się pedałowi przyspieszenia i innym częściom z nim powiązanim. Dynamiczny nacisk na pedał gazu powoduje intensywniejsze wychylenie tak zwanego czujnika położenia pedału gazu, doręczającego informacje o stopniu jego pozycji do sterownika silnika i przyczyniającego się do otwarcia przepustnicy i wtrysku paliwa do serca samochodu, czyli silnika. Birrell i inni wykazali, iż efektywne jest otwarcie przepustnicy w 50%, za co w szczególności odpowiada czujnik położenia przepustnicy [14]. Zatem nieprawidłowe działanie sensorów zainstalowanych w pojeździe może przyczynić się do silnej nieoszczędności paliwa.

Kolejnym niezmiernie istotnym czynnikiem wpływającym na efektywność paliwową jest tak zwana minimalna praca silnika na biegu jałowym. Jest to działanie silnika na najniższych obrotach w celu pokonania oporów wewnętrznych, które uaktywnia zużycie paliwa. Współcześnie produkowane samochody nie wymagają rozgrzewania silnika na postoju, ze względu na to, iż silnik szybciej osiąga odpowiednią temperaturę roboczą w czasie jazdy. Jak wykazują badania, w zależności od rodzaju samochodu oraz wielkości silnika pojazd zużywa od 0,6 do 5,7 litrów nośników energii na godzinę. Dodatkowo stwierdzono, że w Stanach Zjednoczonych niekoniczna praca na biegu jałowym powoduje roczną stratę w postaci zużycia paliwa o wartości 22,7 mld litrów, z czego 50% jej źródłem są pojazdy osobowe [15]. Wyjątek stanowi praca na biegu jałowym przez około jedną minutę po zatrzymaniu samochodu w przypadku zamontowanego w pojeździe elementu tj. turbosprężarki, co z pewnością zapewnia jego trwałość.

Obecnie zauważalnym trendem wśród producentów pojazdów jest konstruowanie ich w sposób minimalizujący poziom zużycia paliwa oraz emisję substancji toksycznych do przestrzeni ziemskiej. W tym zakresie znaczenie ma odpowiednie zaprojektowanie kształtu samochodu oraz zwrócenie uwagi na jego masę. W celu redukcji spalania zmniejsza się ciężar własny pojazdu poprzez substytucję materiałów o znaczącej wadze, takich jak żeliwo lub stal, na materiały o mniejszym ciężarze, czyli włókno węglowe lub aluminium. Stosowane są również inne zabiegi, takie jak: minimalizowanie ilości wyposażenia w okablowanie sterującej jednostki silnika, zastąpienie elementów zapasowych zestawem regeneracyjnym, jak i zmniejszanie wagi foteli w pojeździe [16]. Poza tym pojazdy projektowane są w taki sposób, aby zredukować siły oddziałujące na nie podczas jazdy (m.in. opór aerodynamiczny). Nadwozie samochodów kształtem

powinno być łagodne i opływowe, tak aby przepływ powietrza po ich powierzchni odbywał się w sposób laminarny. Odnosząc się do samochodów ciężarowych, swobodny ruch powietrza w czasie jazdy mogą zagwarantować spojery, pewnego rodzaju elementowa ochrona pomiędzy kołami, odpowiednio napięta plandeka oraz nawiewy działające pneumatycznie ze względu na znajdującą się za naczepą przestrzeń generującą opór aerodynamiczny. Według D. Drabika pojazd może zużyć o 2 litry paliwa więcej na 100 kilometrów w sytuacji intensyfikacji siły oporów aerodynamicznych [16].

Warunki pogodowe również wpływają na modyfikację spalania [6, 8]. Do zmiennych oddziałujących na zużycie paliwa przez pojazd związanych z warunkami pogodowymi (rys. 1) należą: temperatura, wilgotność oraz wiatr. Degraeuwe i Beusen wykazali, iż obniżenie się temperatury o 1°C powoduje zwiększenie zużycia paliwa o $0,38\% \pm 0,0079\%$, natomiast opady deszczu intensyfikują opór powietrza i toczenia, przyczyniając się do spadku ekonomiczności spalania [17]. Kwiatkowski i inni za pomocą przeprowadzonych eksperymentów wykazali, że w warunkach zimowych występuje największe zużycie oleju napędowego przez pojazdy, przy stosunkowo niewielkim obciążeniu. Taka postać rzeczy ma miejsce w związku z panującą temperaturą w przestrzeni oraz stanem nawierzchni. Energia wytworzona podczas procesu spalania częściowo zostaje stracona na rozgrzanie silnika, co przy niskiej temperaturze zewnętrznej dodatkowo powoduje dynamizację poziomu zużycia paliwa [18]. W warunkach zimowych przydatnym rozwiązaniem technologicznym jest zatem zainstalowany w pojeździe postojowy system ogrzewania o nazwie *Webasto*, który rozgrzewa silnik bez konieczności jego uruchamiania.

Zdaniem Farrington'a i innych to układ klimatyzacji w samochodzie jest ekstremalnym obciążeniem dodatkowym, czego przyczyną jest bezpośrednie połączenie z silnikiem elementu systemu, czyli sprężarki, za pomocą paska klinowego, który z kolei ją napędza, powodując zmianę zużycia nośników energii. Moc służąca do odpowiedniego funkcjonowania sprężarki jest wysoka (kilka kW), co często odpowiada przekroczeniu zużycia mocy silnika niezbędnej do napędzania przeciętnej wielkości pojazdu jadącego ze stałą prędkością o wartości 56 km/h [19]. Jak dowodzą badania, przy prędkości jazdy z zakresu 64 do 113 km/h, w przypadku samochodu osobowego małej wielkości, rozwiązaniem zapewniającym zmniejszenie zużycia nośników energii jest kierowanie pojazdem z opuszczoną szybą, niż korzystanie z opcji maksymalnego chłodzenia. Z kolei w czasie jazdy przekraczającej około 130 km/h sytuacja wygląda odwrotnie – większe zużycie paliwa powoduje jazda z opuszczonymi szybami, ze względu na nasilony opór aerodynamiczny [15]. V.H. Johnson stwierdził, iż zmniejszenie korzystania z systemu klimatyzacji o połowę w Stanach Zjednoczonych, poprzez zastosowanie nowoczesnych rozwiązań z tym obszarem związanych, przyczyni się do redukcji krajowego zużycia paliwa o 3% [20].

Często występującym zjawiskiem pogodowym jest wiatr, będący źródłem zwiększonego spalania ze względu na spotęgowane opory powietrza, które musi pokonać pojazd

znajdujący się w ruchu. Odnosząc się z kolei do wilgotności powietrza, warto zauważyć, iż ten parametr wpływa pozytywnie na pracę silnika, gdyż poprawia proces spalania. Jak wynika z eksperymentu przeprowadzonego przez P. Hallera, większa wilgotność powietrza powoduje spotęgowanie mocy silnika i momentu obrotowego [21]. Generalnie, zauważa się pewną zależność związaną z pracą silnika i wilgotnością ośrodka, w jakim znajduje się samochód. Zatem im bardziej podwyższona wilgotność powietrza, tym większa sprawność silnika, co z kolei przejawia się mniejszym zużyciem paliwa.

Z ruchem pojazdu ściśle powiązane są siły zewnętrzne, tak zwane opory ruchu, do których zalicza się opór toczenia, aerodynamiczny oraz wzniesienia. Opory aerodynamiczne oraz toczenia pojawiają się każdorazowo, a zwrot danych sił jest przeciwny do kierunku ruchu pojazdu. Z kolei opór wzniesienia jest incydentalny. Pojawia się wtedy, gdy samochód porusza się po wzniesieniu i jest tym większy, im większy jest wzrost kąta nachylenia drogi. Zespół badaczy pod kierownictwem M.J. Barth'a wykazał, iż pojazdy zużywają o 15–20% więcej nośników energii podczas jazdy na wzniesieniach niż na drodze płaskiej, a zjazd jest najbardziej energooszczędny [22]. Inne badania pokazują, że spalanie paliwa wzrasta o 140% w przypadku, gdy nachylenie terenu podnosi się z 0,5% do 6% [23]. Z kolei P. Fan i inni przeprowadzili badania na koło 700 pojazdach lekkich (LDV), a następnie stwierdzili, iż spadek nachylenia drogi o 1% zmniejsza zużycie paliwa o 16% [24]. Natomiast chińscy naukowcy, badając pojazdy ciężkie (HDV), wskazali na wpływ stopnia wzniesienia na emisję tlenku węgla (CO), węglowodorów (HC) i tlenków azotu (NO_x) wydzielanych z pojazdów do atmosfery. Udowodnili, iż wzrost nachylenia terenu z 0% do 4% powoduje podwyższenie emisji powyżej wymienionych substancji szkodliwych z około 40% do 60%, gdzie tlenek węgla miał najwyższy wzrost, natomiast węglowodory – najniższy [25]. J. Gallus i inni wykazali, iż 5-procentowa zmiana stopnia nachylenia trasy ze wzniesienia zerowego przyczynia się do intensyfikacji dwutlenku węgla (CO₂) i NO_x odpowiednio o 65–81% i 85–115% [26]. Kilku innych badaczy z uzyskanych podczas przeprowadzonych eksperymentów wyników wynioskowało, że zmiana nachylenia z 0% do 8% powoduje podwyższenie emisji substancji toksycznych z pojazdów do otoczenia o 24–380% (NO_x), 2–64% (CO₂), 3–47% (HC) oraz 4–73% (CO) [27]. Analizując powyższe rezultaty badań, zauważyć można, iż najwięcej uzależniona od nachylenia terenu jest emisja NO_x, następnie CO oraz CO₂. W dodatku najmniej podatna na zmianę stopnia wzniesienia jest emisja HC.

Biorąc z kolei pod uwagę zmienne wpływające na poziom zużycia paliwa związane z drogą, czyli typ i jej chropowatość, dostrzec można ich korelację z siłami zewnętrznymi przeciwstawiającymi się ruchowi pojazdu. Chropowatość bezpośrednio powiązana jest z oporem toczenia. Zatem im większa chropowatość jezdni, tym zwiększone spalanie. Natomiast zużycie paliwa na poszczególnych typach dróg w pewnym stopniu uzależnione jest od oporu powietrza. W przypadku samochodu osobowego, przy prędkości 60 km/h, wartość

oporu aerodynamicznego oraz toczenia uzyskują podobną wartość. Wynika z tego, że w obszarze miejskim straty związane z oporem toczenia dominują nad stratami skorelowanymi z oporem powietrza. Poza obszarem zabudowanym, przy wyższych prędkościach, jak i na drogach szybkiego ruchu, wartość oporu aerodynamicznego dynamizuje się kilkukrotnie względem oporu toczenia. Odnosząc się do samochodów ciężarowych, opór powietrza zaczyna przewyższać siły toczenia przy prędkości 80 km/h, co powoduje zwiększone zużycie nośników energii [28].

Gwałtowne przyspieszanie czy dynamiczne hamowanie powiązane jest z sytuacjami mającymi miejsce w pobliżu skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Dane zachowania są nieenergooszczędne i prowadzą do intensyfikacji poziomu zużycia paliwa i zwiększenia emisji substancji szkodliwych do atmosfery. Zhou i inni w kilku badaniach wykazali zmniejszenie spalania o 22–50% w przypadku wykorzystywania informacji o sygnalizacji świetlnej [8]. Informacje te mogą być ogólnodostępne dla kierowców dzięki wykorzystaniu inteligentnych systemów w pojazdach (np. tempomatu przewidującego) czy w elementach infrastruktury drogowej. Za pomocą przeprowadzonych symulacji Tielert i inni dowiedli, iż system komunikacji pomiędzy sygnalizacją świetlną a pojazdami redukuje zużycie nośników energii o 22% oraz emisję NO_x o 35%, z kolei CO o 80% [29]. Natomiast Sanchez i inni w wynikach badań wykazują, iż inteligentne systemy łączności sygnalizacji świetlnej z kierowcami powodują redukcję spalania o 22% w obszarze zabudowanym [30]. Badając rolę tempomatu przewidującego, amerykańscy naukowcy stwierdzili, iż zastosowanie go w celu komunikacji pomiędzy systemem sterowania ruchem a pojazdem poprawia oszczędność paliwa o 47% [31]. Wyposażenie pojazdu we współczesne tempomaty wpływa pozytywnie również na przepływ ruchu ze względu na możliwość utrzymania odpowiedniej odległości pomiędzy samochodami.

Czynniki wpływające na zmianę poziomu zużycia paliwa związane z podróżą to jej odległość oraz czas. Niekoniecznie zmienne te są zależne z wartościami spalania oraz emisją spalin w sposób liniowy. Jak dowiedli Ahn i inni za pomocą wypracowanych modeli, trasa z czasem podróży dłuższym o 4,3 minuty, lecz o lepszych warunkach związanych z natężeniem ruchu, lub drogowych, powoduje mniejsze zużycie paliwa o 18–23% oraz redukcję emisji NO_x i CO₂ o odpowiednio 25% i 20%. Ogólnie stwierdzono, że podróżowanie autostradą, pomimo mniejszego czasu podróży i odległości, niekoniecznie przynosi korzyści w postaci oszczędności paliwa oraz lepszych warunków powietrza, w porównaniu z inną arterią komunikacyjną [32]. Według Barth'a i Boriboonsomsin'a trasa z najmniejszym czasem podróży, lecz o dużym natężeniu ruchu jest mało efektywna energetycznie. Takie same rezultaty przynosi droga o znacznym nachyleniu. Dodatkowo badacze opracowali tak zwany *eco-routing systems*, czyli systemy zapewniające energooszczędny przejazd, oraz wykazali, iż ich zastosowanie poprawiło poziom zużycia paliwa o 8,73–42,15% w zależności od natężenia ruchu [33].

Do ostatnich czynników modyfikujących stopień zużycia paliwa należy zachowanie kierowcy i jego agresywność jazdy.

To właśnie sposób prowadzenia pojazdu, w pewnym stopniu przynosi wyżej opisane korzyści związane z pozostałymi zmiennymi, które wpływają na spalanie. Wykreowane na przestrzeni lat zasady ekof jazdy pomagają kierującym w osiągnięciu efektywności paliwowej. Większość z nich ma na celu płynne prowadzenie pojazdu poprzez redukcję prędkości maksymalnej, w tym utrzymywanie jej na stałym poziomie, unikanie gwałtownego przyspieszania oraz hamowania, jazdę na możliwie najwyższym biegu przy niskich obrotach i w optymalnym zakresie obrotów silnika, czy hamowanie silnikiem [1, 15].

Eva Ericsson, badając za pomocą analizy regresyjnej zależności pomiędzy wieloma czynnikami związanymi ze stylem jazdy a zużyciem paliwa i emisją spalin, wykazała, iż tylko dziewięć z nich odgrywa ważną rolę i odnosi się w sposób ogólny do przyspieszania, zmiany biegów oraz prędkości jazdy [34]. Z eksperymentów przeprowadzonych przez firmę DAF wynika, iż redukcja prędkości przy około 90 km/h o 4 km/h przyczynia się do oszczędności paliwowej w postaci 1 l/100 km [35]. Według innych badaczy agresywna jazda powoduje zwiększenie poziomu zużycia paliwa o połowę oraz emisji spalin, w tym o 3% CO₂, HC i CO odpowiednio dwadzieścia i sześć razy więcej oraz zmniejszenia o ponad 60% emisji NO_x w porównaniu z łagodną jazdą (40% maksymalnej możliwości przyspieszenia). Dodatkowo udowodniono, że optymalny i zarówno energooszczędny zakres prędkości to 60–90 km/h [36]. Kilku naukowców z kolei twierdzi, iż agresywna jazda związana bezpośrednio z przyspieszaniem i zwalnianiem intensyfikuje spalanie w zakresie o 30–40%, w stosunku do delikatnego kierowania pojazdem [8].

W dodatku zauważyć można, iż gwałtowne hamowanie powoduje nadmierną eksploatację elementów pojazdu, w tym tarcz hamulcowych i klocków. Zatem specjaliści z zakresu „eco-drivingu” zalecają częste hamowanie silnikiem. Za pomocą badań przeprowadzonych przez M. Andrzejewskiego (na samochodach lekkich oraz ciężkich) stwierdzono, że hamowanie silnikiem poprzez redukcję biegów przyczynia się do większej sprawności silnika, tym samym mniejszego zużycia paliwa i emisji substancji toksycznych do atmosfery (HC, CO, CO₂) [37]. Zasada ta jest w szczególności przydatna w czasie zjazdów ze wzniesień, ponieważ wtedy to występuje duże prawdopodobieństwo przegrzania się pewnych części układu hamulcowego, dlatego też w przypadku pojazdów HDV zaleca się także korzystanie z hamulców pomocniczych tak zwanych retarderów. Ważne jest również, aby – jeśli jest taka możliwość – utrzymywać stałą prędkość podczas jazdy, ze względu na brak konieczności dynamizacji siły napędowej podczas zaistnienia mniejszych oporów ruchu oraz równą pracę silnika. Jak mówią wzorce energooszczędnej jazdy, w czasie kierowania pojazdem należy często korzystać z urządzenia, jakim jest tempomat [15].

Kolejnym zaleceniem dotyczącym ekof jazdy jest odpowiednia zmiana biegów. W początkowej fazie rozpędzania pojazdu, ze względu na brak osiągnięcia właściwej temperatury olejowej, sugeruje się, aby nie przekraczać prędkości obrotowej o wartości 1800 obr./min w celu zabezpieczenia

istotnych podzespołów pojazdu [38]. Modyfikację biegu z pierwszego na drugi należy dokonywać dość sprawnie ze względu na to, iż początkowy bieg przyczynia się jedynie do pokonania siły bezwładności i ruszenia pojazdu. Proponuje się, aby w przypadku silników wolnossących zmiana na bieg trzeci nastąpiła przy prędkości 30 km/h, a dalsze włączanie biegów występowało co 10 km/h dotąd, aż prędkość 50 km/h będzie pokonywana na biegu piątym. Z kolei odnosząc się do silników wysokoprężnych wyposażonych w turbosprężarki, sugeruje się, aby bieg trzeci włączyć przy prędkości 40 km/h. Natomiast przy prędkości 80 km/h należy uruchomić bieg piąty (modyfikacja co dwadzieścia kilometrów na godzinę). Warto również zwrócić uwagę na optymalny w ujęciu ekonomicznym zakres prędkości obrotowej. Jeden samochód poruszający się z prędkością obrotową o wartości 4000 obr./min produkuje hałas równy 30-krotnemu wzrostowi liczby pojazdów tego samego typu, jadących z prędkością 2000 obr./min [38]. Jak udowodnił M. Andrzejewski, to jazda na najwyższym biegu przy niskiej prędkości obrotowej powoduje spadek zużycia nośników energii oraz emisji toksycznych spalin [37].

Niezmiernie istotną koncepcją energooszczędnej jazdy, silnie powiązaną z decyzją podejmowaną przez kierowcę, jest czujne obserwowanie sytuacji drogowej. W szczególności kierowca powinien kontrolować okoliczności związane z występowaniem ruchu drogowego, sygnalizacji świetlnej, zjazdów czy wzniesień. To przede wszystkim zachowanie odpowiedniego odstępu od poprzedzającego pojazdu oraz obserwowanie pozostałych uczestników ruchu zapewnia bezpieczeństwo drogowe. Ważne jest także monitorowanie drogi z daleka oraz reagowanie na występujące sytuacje. Skutkiem takiego działania jest odpowiednie wytracenie prędkości poprzez hamowanie silnikiem oraz unikanie jazdy agresywnej w przypadku wystąpienia sygnalizacji świetlnej i zjazdów. Wiedza kierowcy z zakresu centralnych praw fizyki stanowi podstawę ekof jazdy. Uważne śledzenie ukształtowania terenu pozwala na wcześniejszą reakcję kierującego pojazdem oraz zaplanowanie dalszych działań. W przypadku wystąpienia terenu o znacznym nachyleniu, według specjalistów z obszaru ekonomicznej jazdy, należy rozpędzić pojazd na prostej poprzedzającej wzniesienie, następnie na najwyższym biegu i możliwie przy stałej prędkości wjechać na szczyt i bez nacisku na pedał przyspieszenia pokonać zjazd ze wzniesienia za pomocą oddziaływania siły bezwładności napędzającej samochód [38].

Zasady energooszczędnej jazdy odnoszą się również do decyzji i czynności wykonywanych poza jazdą. Sam zakup pojazdu z optymalną wielkością silnika i jego mocą, odpowiednio dobranym aerodynamicznym kształtem, ciężarem i systemem wpływa na efektywność paliwową. Dodatkowo źródłem kilkuprocentowego wzrostu oszczędności paliwowej jest zakup energooszczędnych opon z odpowiednią rzeźbą bieżnika, wykonanych z nowoczesnych materiałów zapewniających mniejsze opory toczenia. Jak informuje przedsiębiorstwo DAF, obniżona wartość ciśnienia o 20% w stosunku do ciśnienia optymalnego w ogumieniu wpływa na intensywniejsze spalanie w ujęciu procentowym o 2,5% oraz

o ¼ krótszy czas ich eksploatacji [35]. Według innych autorów ciśnienie o 0,3 bar niższe to 6% wzrost oporów toczenia i 3% wzrost zużycia paliwa [38]. Można zatem powiedzieć, iż kontrola stanu technicznego pojazdu jest niezmiernie ważna.

Oprócz częstej obserwacji ciśnienia w ogumieniu warto również wykonywać regularne przeglądy, serwisować pojazd, wymieniać części eksploatacyjne, takie jak filtry powietrza, oleju czy paliwa, dbać o prawidłowy stan układu chłodzenia, dolotowego i wylotowego (regeneracja filtrów cząstek stałych), monitorować poziom oleju oraz regularnie go wymieniać na olej o odpowiedniej jakości. W przypadku samochodów benzynowych sugeruje się oceniać stan zużycia świec i kabli zapłonowych, co zapewni niezawodną pracę silnika. Odnosząc się do pojazdów ciężarowych, kierowca powinien obserwować stan naczepy i likwidować wszelkiego rodzaju luzy, między innymi poprzez napięcie plandeki. Niezmiernie ważne jest zwrócenie uwagi na połączenie naczepy z ciągnikiem siodłowym, dbanie o prawidłowe rozłożenie ładunku, a także jego zabezpieczenie. Zaleca się rozmieszczenie towaru w taki sposób, by obciążenie wszystkich jego osi było praktycznie równomierne bez przekroczenia dopuszczalnych nacisków na oś oraz nieprzekraczanie dopuszczalnej masy całkowitej lub dopuszczalnej ładowności pojazdu. Badania wykazały, iż kierowanie samochodem osobowym z prędkością 120 km/h z zamontowanym na dachu bagażnikiem powoduje wzrost o około 40% zużycia paliwa w porównaniu do braku pudła umiejscowionego na najwyższej ułożonej części wierzchniej nadwozia pojazdu [38].

Analizując czynniki wpływające na zużycie paliwa, lecz także na ekologię, bezpieczeństwo, hałas czy koszty związane z eksploatacją podzespołów pojazdu, stwierdzić można, iż w głównej mierze od decyzji kierującego zależy to, czy dane zmienne przyniosą profity i jakie będą to wielkości. Decyzje podejmowane przez osobę kierującą często powiązane są z jego doświadczeniem oraz wiedzą na temat zasad ekof jazdy. W tabeli 1 podsumowano oddziaływanie wszystkich opisanych wyżej stymulatorów na zużycie paliwa w postaci korzyści wyrażonych w procentach [39].

Tabela 1

Podsumowanie wpływu analizowanych zmiennych na zużycie paliwa						
	Związane z pojazdem	Związane z pogodą	Związane z drogą	Związane z ruchem drogowym	Związane z podróżą	Związane z kierowcą
Korzyści [%]	2–8	≤3	≤20	22–50	8,73–42,15	≤50
Pozycje literaturowe	[6, 8, 13, 14, 16]	[15, 17, 18, 20]	[22, 23, 24, 25, 26, 27]	[8, 29, 30, 31]	[32, 33]	[6, 8, 9, 10, 34, 36]

Źródło: [39]

Jak wynika z tabeli 1, największy wpływ na zużycie paliwa mają zmienne związane z kierowcą oraz ruchem drogowym. Natomiast niewielkie korzyści paliwowe (do 3%) przynoszą czynniki mające związek z pogodą. Wyniki, które zostały przedstawione przez wielu badaczy, wskazują na istotną rolę, jaką odgrywa we współczesnym świecie koncepcja „eco-drivingu” skupiająca się w szczególności na efektywnym zachowaniu kierowcy w czasie jazdy i poza nią. Rozpoczynając od zakupu pojazdu oszczędnego, po jego

odpowiednią eksploatację. To umiejętne korzystanie z systemów i urządzeń wspomagających energooszczędną jazdę jest jedną z ważniejszych zasad omawianej idei.

Zasady „eco-drivingu” według systemu niemieckiego i japońskiego

Rozwój nowoczesnych technologii oraz wiedza na temat zmiennych wpływających na wielkość zużycia paliwa wpłynęły na możliwość przeprowadzenia wyspecjalizowanych badań, za pomocą których wykreowane zostały pewne nieobligatoryjne sposoby postępowania w czasie kierowania pojazdem. Czynności te przyczyniają się do powstania korzyści ekonomicznych czy ekologicznych i nazywane są zasadami „eco-drivingu”. Najbardziej popularne zasady „eco-drivingu” zostały zdefiniowane przez niemiecki i japoński zespół badawczy. Istotnym działaniem promującym ekonomiczną jazdę ze strony Japonii stało się opracowanie przez Komitet Łącznikowy ds. promocji ekof jazdy w 2003 roku „10 Eco-Driving Tips” [40]. Większość z japońskich wzorców zachowania się kierowcy w czasie jazdy stosowanych jest globalnie do dnia dzisiejszego. Typy prawidłowych zachowań kierowcy ukształtowane przez niemieckich ekspertów z obszaru „eco-drivingu” odbiegają częściowo od japońskich założeń. Dysharmonia w aspekcie ekof jazdy widoczna jest przede wszystkim w kwestii przyspieszania przy starcie pojazdu z punktu A. Zgodnie z systemem niemieckim, w celu osiągnięcia efektywnej jazdy należy przyspieszać dynamicznie, wciskając pedał gazu do ¾ jego położenia. Natomiast według Japończyków powinno przyspieszać się płynnie i stosunkowo wolno, tak by w ciągu pierwszych pięciu sekund jazdy nie przekroczyć prędkości 20 km/h [41]. Do celów porównawczych zasad ekonomicznej jazdy założonych przez niemieckich i japońskich badaczy działających w danym obszarze stworzona została tabela 2.

Tabela 2

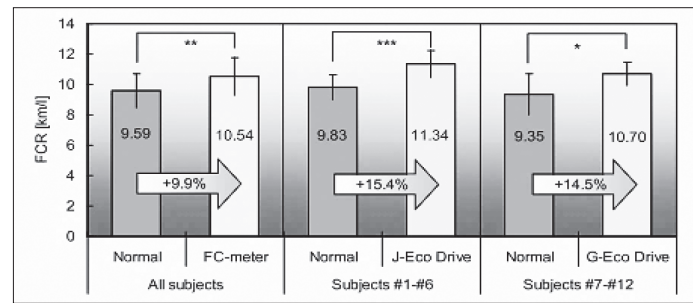
Zestawienie porównawcze zasad „eco-drivingu” ujętych w systemie niemieckim i japońskim	
Założenia ekof jazdy według systemu niemieckiego	Założenia ekof jazdy według systemu japońskiego
<ol style="list-style-type: none"> Należy przyspieszać dynamicznie, dociskając pedał gazu do 75% jego położenia; Jak najczęściej powinno się hamować silnikiem i stosunkowo nie używać biegu jałowego; Należałoby nie rozgrzewać silnika na postoju bez potrzeby; Trzeba monitorować sytuację drogową i dostrzegać nawet najmniejsze utrudnienia; Jeden raz w miesiącu można sprawdzić poziom ciśnienia w oponach i stan techniczny samochodu; Należy przewozić jedynie potrzebne ładunki oraz ściągnąć bagażnik z dachu pojazdu; Warto jechać długo na możliwie wysokim biegu, przy niskiej prędkości obrotowej; Podczas przyspieszania można pomijać biegi, tak by ostatecznie jechać na możliwie najwyższym biegu; Jak tylko to możliwe, należy zmieniać biegi na wyższe; Nie przekraczać wartości 2500 obr./min – silnik ZI, 2000 obr./min – silnik ZS. 	<ol style="list-style-type: none"> Należy przyspieszać delikatnie, tak aby nie przekroczyć prędkości 20 km/h w ciągu początkowych pięciu sekund, tzw. e-start; Powinno się hamować silnikiem; W miarę możliwości nie rozgrzewać silnika na postoju; Trzeba sprawdzać informację o ruchu drogowym i w ten sposób unikać kongestii; Często kontrolować poziom ciśnienia w oponach i w ten sposób zmniejszyć opory toczenia; Powinno przewozić się jedynie potrzebne ładunki, redukując niepotrzebny balast; Warto zachowywać stałą prędkość jazdy; ograniczyć zbędne przyspieszanie i nadmierne hamowanie; Nie należy uruchamiać silnika na postoju i zmniejszyć stosowanie biegu jałowego; Warto włączyć klimatyzację tylko w razie potrzeby; Parkować należy tak, by nie utrudniać ruchu pozostałym użytkownikom pojazdów.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [41]

Pomimo dysproporcji w aspekcie przyspieszania pomiędzy założeniami omawianych systemów zauważyć można kilka wspólnych reguł. Przede wszystkim dotyczą one zachowań kierowcy, to znaczy rekomendowana jest jazda możliwie na jak najwyższym biegu przy niskiej prędkości obrotowej, hamowanie silnikiem, unikanie rozgrzewania silnika na postoju i nieczęste stosowanie biegu jałowego, co przyczyni się do redukcji średniego spalania paliwa. Dodatkowo, według wzorców wykreowanych przez niemieckich i japońskich specjalistów z zakresu ekof jazdy, warto stale monitorować poziom ciśnienia w oponach, zmniejszając w ten sposób opory toczenia oraz zredukować nadmiar dodatkowego ciężaru w pojeździe przez ograniczenie przewożenia zbędnych przedmiotów, co także przyczynia się do redukcji zużycia paliwa.

Wielu współczesnych badaczy podjęło próbę analitycznego porównania założeń systemu niemieckiego oraz japońskiego stosowanych przez kierowców w czasie jazdy. Matsumoto i inni przyjrzyli się oddziaływaniu trzech typów jazdy: normalnej, japońskiej oraz niemieckiej na wskaźnik zużycia paliwa podczas realnie przeprowadzonych testów na pojazdach. W czasie badania nie ustalono zasadniczej różnicy, bazując na faktycznych wskaźnikach zużycia paliwa [42]. Według Kato i innych efektywność paliwowa uległa poprawie w czasie wykonanych prób rzeczywistych z kierowcami i pojazdami, przy poddaniu analizie zarejestrowanego parametru jazdy, czyli przyspieszenia typowego dla stylu jazdy japońskiego – łagodne przyspieszanie oraz niemieckiego – dynamiczne przyspieszanie, w stosunku do jazdy normalnej. Za pomocą przeprowadzonych badań osiągnięto następujący wynik: rzeczywisty wskaźnik zużycia paliwa wzrósł o 11,6% podczas stosowania przez kierowcę założeń japońskich, z kolei o 7,1% w przypadku ekologicznej jazdy niemieckiej w porównaniu z jazdą normalną [43].

Kilku japońskich naukowców podjęło się przeprowadzenia eksperymentów porównujących niemiecką i japońską ekof jazdę z wykorzystaniem symulatorów jazdy. Hiraoka i inni wykonali trzy główne badania, których wyniki – w postaci wskaźnika zużycia paliwa – porównali ze sobą. W pierwszym teście kierowcy nie otrzymali instrukcji dotyczącej zasad ekonomicznej jazdy, kierowali wirtualnym pojazdem według ich dotychczasowego doświadczenia bez możliwości sprawdzenia poziomu zużycia paliwa (tzw. jazda *Normal*). Następnie kierowcy prowadzili pojazd w taki sam sposób jak w teście pierwszym, przy czym mieli stałą możliwość odczytu zużycia paliwa (*FC-meter*). W przypadku trzeciej próby, bez licznika zużycia paliwa, prowadzący fikcyjny pojazd otrzymali reguły niemieckiej i japońskiej techniki jazdy (*J-Eco Drive*, *G-Eco Drive*), do których mieli się zastosować. Eksperymentowi poddanych zostało 12 mężczyzn prowadzących nierzeczywisty pojazd o masie 1,7 ton z pięciobiegową automatyczną skrzynią biegów. Samochód ten podążał za pojazdem go poprzedzającym po wyznaczonej trasie dwupasmowej drogi o długości 9 kilometrów [44]. Otrzymane wyniki z przeprowadzonych badań widoczne są na rysunku 2.



Rys. 2. Wyniki przeprowadzonych badań przez Hiraoka i in. – średnie zużycie paliwa
Źródło: [40]

Rysunek 2 ilustruje średnie zużycie paliwa podczas trzech odbytych prób jazdy, gdzie słupki błędów reprezentują odchylenie standardowe. Natomiast skrót *FCR* oznacza wskaźnik zużycia paliwa [km/l]. Badani kierowcy, oznaczeni od #1 do #6, przed testem trzecim dostali do zapoznania się – japońską instrukcję ekonomicznej jazdy, natomiast badani od #7 do #12 – instrukcję niemiecką. Przyporównując test drugi *FC-meter*, czyli jazdę bez instrukcji ekof jazdy, z możliwością monitorowania wielkości zużycia paliwa do próby pierwszej (jazdy normalnej) zauważyć można, iż średnia oszczędność paliwa wzrosła w danym przypadku o 9,9%. Okazuje się, iż dostępny licznik zużycia paliwa podniósł wewnętrzną motywację prowadzących fikcyjny pojazd i wywołał chęć do osiągnięcia mniejszego spalania. Ponadto, wyniki eksperymentalne wskazują na efektywność przekazanych kierowcom japońskich i niemieckich instrukcji ekof jazdy. Minimalnie lepszą skutecznością wykazała się japońska technika jazdy – oszczędności paliwowe wzrosły o 15,4% w porównaniu z jazdą normalną. W przypadku niemieckiej ekof jazdy wskaźnik zużycia paliwa poprawił się o 14,5% w stosunku do jazdy normalnej. Jednoznacznie stwierdzono, iż nie występuje znacząca dysproporcja w dynamice wzrostu efektywności paliwowej pomiędzy obydwoma technikami jazdy³.

³ Uzupełniająco wykonano szczegółową analizę niemieckiego i japońskiego stylu jazdy kierowców, badając parametry zarejestrowane w czasie jazdy, tj. średni współczynnik wybiegu, i badając następujące zależności: między prędkością a przyspieszeniem oraz między prędkością a odległością wyprzedzania [więcej: 30]. Przeprowadzono również eksperyment z wykorzystaniem symulatora jazdy (*DS*) oraz symulatora ruchu „*AIMSUN*” na wyznaczonej wirtualnej drodze z dwoma skrzyżowaniami z sygnalizacją świetlną, wymagającej znaczącej zmiany prędkości wynikającej z zatrzymań na skrzyżowaniu [więcej: 44]. Porównując wyniki z przeprowadzonych eksperymentów na symulatorach jazdy przez japońskich naukowców, można zadać sobie następujące pytanie: niemiecka czy japońska technika jazdy powoduje mniejsze zużycie paliwa? Odpowiedź nie jest jednoznaczna. W większości uzależnione jest to od warunków jazdy oraz doświadczenia kierowcy z zakresu ekonomicznego kierowania pojazdem. Można jedynie stwierdzić, iż japońska ekof jazda powoduje minimalnie większą redukcję paliwa w porównaniu do niemieckiej, na drogach bez występowania zjawiska kongestii i obiektów prowadzących do zatrzymywania się użytkowników ruchu, tj. sygnalizacji świetlnej. Różnica ta nie jest jednak statystycznie istotna, czego przyczyną może być zwiększony czas korzystania z wybiegu podczas kierowania zgodnego z założeniami niemieckimi. W przypadku trasy z licznymi skrzyżowaniami i sygnalizatorami japoński styl jazdy nie jest już tak skuteczny w obniżeniu spalania paliwa. Odnosząc się natomiast do czasu przejazdu, skraca się on w sytuacji korzystania z założeń systemu niemieckiego ze względu na dynamiczne przyspieszanie. Syntetycznie zatem można stwierdzić, iż stosowanie w czasie jazdy założeń „*eco-driving*”, w szczególności systemu japońskiego i niemieckiego, w sposób ogólny wpływa na ograniczenie konsumpcji paliwa.

Rozkwit koncepcji ekojazdy w Polsce

Konkretnym działaniem ze strony Unii Europejskiej, celującym bezpośrednio w koncepcję ekojazdy w zakresie środowiskowym, było wykreowanie programu o nazwie *Eco-Driving-Europe*. Został on zapoczątkowany w 2001 roku [41]. Inicjatywa stworzenia przez Komisję Europejską celowych programów stała się prekursorem rozwoju koncepcji energooszczędnej jazdy w wielu krajach europejskich, w tym w Polsce. Pierwszy projekt tego typu o nazwie *Ecodriven* został przeprowadzony w latach 2006–2008 w państwach takich jak: Polska, Francja, Wielka Brytania, Holandia, Finlandia, Austria, Grecja, Czechy oraz Belgia. Ogólny zarys idei ekojazdy i korzyści z niej płynące, przekazano łącznie do około 20 mln kierowców wszystkich kategorii pojazdów w krajach biorących udział w programie. W Polsce partnerami honorowymi kampanii zostały: Ministerstwo Transportu, Środowiska oraz Gospodarki, a koordynatorem Krajowa Agencja Poszanowania Energii SA (KAPE SA), natomiast sponsorami Toyota Polska oraz LeasePlan Polska. W ramach programu odbyła się sekwencja spotkań tak zwanych imprez regionalnych, w których uczestniczyli użytkownicy dróg, w tym kierowcy zawodowi. Nie zabrakło także szkoleń dla instruktorów jazdy, będących grupą docelową dla KAPE⁴. Ponadto KAPE SA zaczęła współpracę ze sponsorem kampanii *LeasePlan* Polska, czyli przedsiębiorstwem zarządzającym flotą samochodową. Ruch ten spowodowany był uznaniem przez KAPE SA za ważną promocję w miarę nieznaną koncepcji ekojazdy wśród menadżerów flot⁵. Jedną z pierwszych firm uczestniczących w szkoleniach w ramach programu *Ecodriven*, było przedsiębiorstwo Lyreco Polska SA [45]. Ponadto, podczas trwania kampanii *Ecodriven*, zbudowano obszerną sieć lokalnej i regionalnej współpracy, którą wykorzystano w następnym rozbudowanym programie o nazwie *Ecowill* (2010–2013).

Druga europejska kampania dotycząca jazdy ekologicznej skierowana była do kierowców oraz instruktorów jazdy⁶. Celem *Ecowill*, poza szkoleniami krótkoterminowymi, było włączenie idei „eco-drivingu” do egzaminów na prawo jazdy poprzez stymulowanie administracji państwowej do utworzenia przepisów dotyczących ekonomicznej jazdy oraz wprowadzenie kursów z ekojazdy w szkołach nauki jazdy [46].

Dwa lata po zakończeniu kampanii *Ecowill*, dokładnie z dniem 1 stycznia 2015 roku, weszły w życie przepisy dotyczące oceny kierowców zdających egzamin na prawo jazdy z umiejętnego kierowania pojazdem zgodnego z zasadami „eco-drivingu”. Zgodnie z nimi [47]:

- osoba zdająca egzamin, podczas jego przebiegu, powinna zmieniać biegi w sposób odpowiedni dla ekonomicznej jazdy oraz kierować pojazdem z taką prędkością obrotową, której wartość mieści się w zakresie zielonego pola pracy umiejscowionego na obrotomierzu, jak i hamować silnikiem (dotyczy kategorii B, B+E, C1, C1+E, C, C+E, D1, D1+E, D i D+E);
- osoba zdająca egzamin, podczas jego przebiegu, powinna w taki sposób kierować pojazdem, aby przy prędkości 50 km/h pierwsze cztery biegi były już zmienione oraz przełączyć bieg na wyższy przy obrotach silnika w zakresie 1800–2600 obrotów na minutę (dotyczy kategorii B i B+E).

Oprócz zmiany przepisów dotyczących egzaminowania osób ubiegających się o uprawnienia do kierowania pojazdami równolegle modyfikacji uległ program nauczania na kursach prawa jazdy. W większości szkół jazdy zainicjowane zostały dodatkowe szkolenia z obszaru „eco-drivingu”. W części szkół jazdy mniejszą wagę przywiązuje się do energooszczędnego kierowania pojazdem w przypadku ubiegania się o prawo jazdy kategorii B (znikoma liczba teorii, kilka wskazówek praktycznych). Z kolei większa uwaga skupiona jest na kierowcach będących w przyszłości kierowcami zawodowymi. Dotyczy to w szczególności kategorii C, C+E, D. W tym przypadku prowadzone są zajęcia teoretyczne i praktyczne.

Pionierskie kampanie *Ecodriven* i *Ecowill* skierowane były głównie do grup, dzięki którym ideologia ekojazdy mogła rozszerzać się w dalszym kierunku – kierowców zawodowych oraz organizacji zarządzających flotą pojazdów. Krótko mówiąc, czynność ta była bardzo skuteczna. Podmioty gospodarcze z sektora transportu zauważyły korzyści płynące z koncepcji „eco-drivingu” związane przede wszystkim z redukcją kosztów wynikającą z mniejszego zużycia paliwa i mniej dynamiczną eksploatacją podzespołów pojazdu.

Za jedno z pierwszych przedsięwzięć działających w Polsce, które samodzielnie, na szeroką skalę, rozpoczęło implementację idei ekojazdy wśród kierowców, uznać można Schenker sp. z o.o. (obecnie DB Schenker). W 2006 roku firma ta stworzyła projekt o nazwie Akademia Kuriera DB Schenker służący podnoszeniu kwalifikacji kierowców zawodowych, w tym podwykonawców, w zakresie między innymi ekonomicznej, ekologicznej i bezpiecznej jazdy. Za pomocą tej inicjatywy organizacja DB Schenker zachęcała własnych podwykonawców do zmiany techniki jazdy ich kierowców i w ten sposób do redukcji emisji substancji szkodliwych spalin z silników spalinowych do atmosfery. To z kolei było powodem do wzrostu zadowolenia ze współpracy i poprawiło jakość obsługi klientów przez podwykonawców. Firma DB Schenker stosowała regularnie rachunek ekonomiczny w celu ukazania efektywności programu. W pierwszych latach po przeprowadzeniu kampanii średnie roczne spalanie paliwa dla pojazdów do 3,5 t oraz powyżej 18 t (ciągniki siodłowe z naczepami) zmniejszyło się w przybliżeniu o 4% spalanych litrów na każde przejechane 100 km w 2012 roku w porównaniu z rokiem 2009 [48]. Inne największe orga-

⁴ Idea ekojazdy została przedstawiona 45 instruktorom na trzech jednodniowych certyfikowanych kursach „train-the-trainer” odbywających się w kilku miastach w Polsce. W trakcie studium przeprowadzono zajęcia teoretyczne, jak i praktyczne. Po ich zakończeniu osoby przeszkolone otrzymały materiały promujące ekonomiczną jazdę. Większość z instruktorów wyraziła inicjatywę do zapoczątkowania szkoleń z „eco-drivingu” we własnych szkołach jazdy, co było perspektywą do dalszego rozwoju tej idei w Polsce.

⁵ W 2006 roku podczas jednej z konferencji promującej kampanię *Ecodriven* przeszkolono 60 menadżerów flot z największych przedsiębiorstw w Polsce. Na następnej konferencji podejście do ekologicznej jazdy zaprezentowano już 300 osobom.

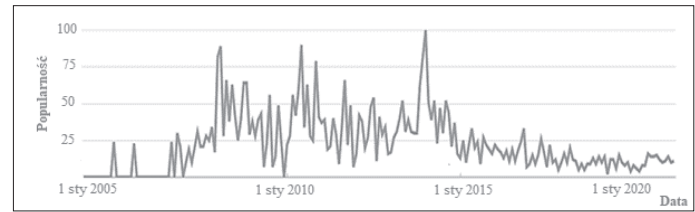
⁶ Stworzono krótkoterminowe szkolenia oraz materiały e-learningowe dla uczestników ruchu drogowego, w tym kierowców zawodowych między innymi przedsiębiorstwa Coca-Cola. Łącznie w kraju przeszkolono 25 instruktorów oraz 500 kierowców.

nizacje logistyczne, również funkcjonujące w Polsce i stosujące szerokie działania proekologiczne w tym szkolenia z „eco-drivingu”, to Grupa Raben oraz WEGA SA. Grupa Raben współpracuje z firmą Mercedes-Benz, która przekazuje wiedzę przez wyspecjalizowanego trenera jazdy defensywnej oraz dostarcza pojazd szkoleniowy. Obecnie trudno odnaleźć wśród dobrze prosperujących firm sektora TSL takie organizacje, które w swojej działalności nie uwzględniają aspektów ekonomicznych oraz ekologicznych.

Ważna rola, jaką odgrywa w aktualnym świecie drogowym „eco-driving”, została zauważona również przez producentów ciągników siodłowych, którzy za strategiczny cel przyjęli organizację szkoleń kierowców z obszaru energooszczędnej jazdy, która w pełni wykorzystuje możliwości pojazdu. Działania takie, będąc narzędziem marketingowym organizacji, poprawiają wizerunek firmy. Firma DAF w ramach programu *Ecodrive+* oferuje jednodniowe szkolenie ekojazdy składające się z trzech bloków: przejazd pierwszy – po wytyczonej wcześniej trasie (bez ingerencji trenera), wykład teoretyczny z zasad „eco-drivingu” oraz systemów i narzędzi zaimplementowanych w ciągniku, które wspomagają ekonomiczną jazdę, przejazd drugi – z pełnym udziałem instruktora. Szczególnym celem kursów jest wyeliminowanie nieodpowiednich nawyków nabytych przez kierowców zawodowych w ciągu ich dotychczasowej praktyki. W ramach posprzedażowej obsługi klienta z bezpłatnego szkolenia mogą skorzystać przedsiębiorstwa posiadające voucher o wartości 140 euro netto z zakupu nowego pojazdu marki DAF. Jak wynika z analiz przeprowadzonych przez producenta, oszczędności z tytułu zużycia paliwa kształtują się na poziomie 3–5% [35]. Organizacją tego typu szkoleń zajmuje się także drugi z wiodących producentów ciągników siodłowych – Mercedes-Benz. W zakres programu *TRUCKTraining* wchodzi zarówno zajęcia teoretyczne grupowe (*Driver Training, Eco Training*), jak i indywidualne kursy praktyczne z trenerem (*Eco Onboard Training, Eco Training*) [49].

Za pomocą ogólnodostępnego narzędzia o nazwie Google Trends zbadano popularność wyszukiwania hasła „eco-driving” przez użytkowników internetu w okresie od 1 stycznia 2005 do 15 marca 2022 roku. W wyniku badania uzyskano dane, z których można wnioskować, że Tunezja jest krajem cieszącym się największą popularnością tego terminu. Polska klasyfikuje się na czwartym miejscu wśród państw na świecie, a pojęcie to wyszukiwane jest u nas w internecie o około połowę mniej razy niż w Tunezji [50].

Na rysunku 3 przedstawiono statystyki *Trends* dotyczące słowa „eco-driving” w Polsce, gdzie miesiące poszczególnych lat reprezentują zainteresowanie terminem względem najwyższego punktu na wykresie (styczeń 2015 – miesiąc cieszący się najwyższą popularnością hasła), któremu przypisywana jest wartość 100. Przyczyną zaistniałej sytuacji mogły stać się obowiązujące od 1 stycznia 2015 roku przepisy dotyczące oceny jazdy kierowców zdających egzamin na prawo jazdy zgodnej z zasadami ekojazdy. Ponadto dosyć wysoką liczbę popularności analizowanego hasła w sieci odnotowano w 2009 oraz 2011 roku (z pewnymi momentami spadkowymi), co mogło się wiązać z wdrażaniem i promowaniem programów *Ecodriven* i *Ecowill*. Od roku 2016 do końca badanego okresu



Rys. 3. Zainteresowanie słowem „eco-driving” użytkowników wyszukiwarki Google w Polsce
Źródło: [73]

odnotowywany jest brak intensywnego zainteresowania terminem wśród użytkowników internetu w porównaniu z punktem maksymalnym. Wśród podregionów o największej liczbie poszukiwań hasła „eco-driving” w wyszukiwarce internetowej znalazły się odpowiednio województwa wielkopolskie, mazowieckie, śląskie oraz małopolskie.

Podsumowanie

Jak pokazują zasoby literaturowe, pojęcie „eco-drivingu” jest przedmiotem bardzo wielu badań naukowych mających na celu poszukiwanie związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy różnymi czynnikami, w szczególności związanymi z działaniem kierowców, a możliwościami uzyskania wymiernych korzyści ekonomicznych czy ekologicznych. Osiągnięcia naukowców na tym polu odgrywają znaczącą rolę w doskonaleniu konstrukcji pojazdów i wyposażaniu je w systemy umożliwiające intensyfikację korzyści ekojazdy. Coraz szybciej rośnie grono zwolenników idei ekojazdy, a są wśród nich zarówno indywidualni użytkownicy pojazdów, jak i podmioty działające w branży TSL. Źródłem takiego stanu rzeczy jest to, iż koncepcję energooszczędnej jazdy skutecznie można stosować w samochodach osobowych, dostawczych, ciężarowych czy w autobusach z różnymi rodzajami silników, w tym benzynowych, wysokoprężnych, hybrydowych, elektrycznych. Do intensyfikacji „eco-drivingu” wśród społeczeństwa przyczyniają się wszelakiego typu kampanie informacyjno-promocyjne, szkolenia oferowane przez szkoły jazdy czy producentów samochodów ciężarowych lub wyspecjalizowane firmy. Ale czy są one wystarczające, a zasady „eco-drivingu” są w praktyce stosowane w szerokim zakresie?

Literatura

1. Grzelak P.L., *Technika eco-drivingu sposobem obniżania emisji zanieczyszczeń ze środków transportu*, „Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport”, 2016, z. 112.
2. Rychlicki M., Kasprzyk Z., Zabuska A., *Wpływ wdrożenia idei ekojazdy na bezpieczeństwo ruchu drogowego*, „Autobusy”, 2018, nr 6.
3. Treatise: *Ecodriving – the smart driving style*, Utrecht for the EC TREATISE project, September 2005.
4. Caban J., Sopoćko M., Ignaciuk P., *Eco-driving, przegląd stanu zagadnienia*, „Autobusy”, 2017, nr 18.
5. Mensing F., Bideaux E., Trigui R., Ribet J., Jeanneret B., *Eco-driving: An economic or ecologic driving style*, “Transportation Research Part C: Emerging Technologies”, 2014, vol. 38.
6. Xu N., Li X., Liu Q., Zhao D., *An overview of eco-driving theory, capability evaluation, and training applications*, *Sensors*, 2021, vol. 21, no. 19.
7. Ahn K., Rakha H., Trani A., Van Aerde M., *Estimating vehicle fuel consumption and emissions based on instantaneous speed and acceleration levels*, “Journal of Transportation Engineering”, 2002, vol. 128, no. 2.

8. Zhou M., Jin H., Wang W., *A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving and eco-routing*, "Transportation Research Part D: Transport and Environment", 2016, vol. 49, no. 5.
9. Kamal M., Mukai M., Murata J., Kawabe T., *Ecological vehicle control on roads with up-down slopes*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011, vol. 12, no. 3.
10. Günther M., Kacperski C., Kreams J., *Can electric vehicle drivers be persuaded to eco-drive? A field study of feedback, gamification and financial rewards in Germany*, "Energy Research and Social Science", 2020, vol. 63, no. 11.
11. <https://autoexpert.pl/artykuly/jakie-sa-czynniki-zuzycia-paliwa> [dostęp: 30.03.2022].
12. <https://truckfocus.pl/specjalne/8735/dlaczego-olej-silnikowy-wplywa-na-zuzycie-paliwa> [dostęp: 30.03.2022].
13. Durczak T., Sander P., Górski K., *Analiza systemów oczyszczania spalin i metod ich regeneracji*, „Autobusy”, 2017, nr 12.
14. Birrell S., Taylor J., McGordon A., Son J., Jennings P., *Analysis of three independent real-world driving studies: A data driven and expert analysis approach to determining parameters affecting fuel economy*, "Transportation Research Part D: Transport and Environment", 2014, vol. 33.
15. Huang Y., Ng E., Zhou J., Surawski N., Chan E., Hong, G., *Eco-driving technology for sustainable road transport: A review*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews", 2018, vol. 93.
16. Drabik D., *Analiza możliwości obniżenia zużycia paliwa w samochodach osobowych*, „Autobusy”, 2017, nr 6.
17. Degraeuwe B., Beusen B., *Using on-board data logging devices to study the longer-term impact of an eco-driving course*, "Transportation Research Part D: Transport and Environment", 2013, vol. 19.
18. Kwiatkowski D., Czech P., Gustof P., Turoń K., Urbańczyk R., Kołdys K., *Rzeczywiste zużycie paliwa w silnikach wysokoprężnych na przykładzie wybranych samochodów osobowych*, „Autobusy”, 2017, nr 6.
19. Farrington R., Rugh J., *Impact of vehicle air-conditioning on fuel economy, tailpipe emissions, and electric vehicle range*, In Earth Technologies Forum, Washington, USA, September 2000.
20. Johnson V. H., *Fuel Used for Vehicle Air Conditioning: A State-by-State Thermal Comfort-Based Approach*, Society of Automotive Engineers (SAE) Technical Paper, 2002, no. 2002-01-1957.
21. Haller P., *Wpływ wilgotności powietrza na parametry pracy silnika samochodowego o zapłonie samoczynnym*, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2015.
22. Boriboonsomsin K., Barth M., *Impacts of Road Grade on Fuel Consumption and Carbon Dioxide Emissions Evidenced by Use of Advanced Navigation Systems*, "Transportation Research Record", 2009, vol. 2139, no. 1.
23. Loulizi A., Rakha H., Bichiou Y., *Quantifying grade effects on vehicle fuel consumption for use in sustainable highway design*, "International Journal of Sustainable Transportation", 2018, vol. 12, no. 6.
24. Fan P., Song G., Zhu Z., Wu Y., Zhai Z., Yu L., *Road grade estimation based on Large-scale fuel consumption data of connected vehicles*, "Transportation Research Part D: Transport and Environment", 2022, vol. 106.
25. Zhang W., Lu J., Xu P., Zhang Y., *Moving towards sustainability: Road grades and on-road emissions of heavy-duty vehicles-A case study*, "Sustainability", 2015, vol. 7, no. 9.
26. Gallus J., Kirchner U., Vogt R., Benter T., *Impact of driving style and road grade on gaseous exhaust emissions of passenger vehicles measured by a Portable Emission Measurement System (PEMS)*, "Transportation Research Part D: Transport and Environment", 2017, vol. 52, no. 2.
27. Silva C., Farias T., Frey H., Roupail N., *Evaluation of numerical models for simulation of real-world hot-stabilized fuel consumption and emissions of gasoline light-duty vehicles*, "Transportation Research Part D: Transport and Environment", 2006, vol. 11, no. 5.
28. Wrzeczoniarz P., Ambroszko W., Pindel, A., *Granice oporów ruchu w pojazdach. Oporó toczenia*, „Autobusy”, 2018, nr 12.
29. Tielert T., Killat M., Hartenstein H., Luz R., Hausberger S., Benz T., *The impact of traffic-light-to-vehicle communication on fuel consumption and emissions*, In Proceedings of the 2010 Internet of Things (IOT), Tokyo, Japan, 1 December 2010.
30. Sánchez M., Cano J., Kim D., *Predicting traffic lights to improve urban traffic fuel consumption*. In 2006 6th International Conference on ITS Telecommunications, Chengdu, China, 2006.
31. Asadi B., Vahidi A., *Predictive Cruise Control: Utilizing Upcoming Traffic Signal Information for Improving Fuel Economy and Reducing Trip Time*, IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2011, vol. 19, no. 3.
32. Ahn K., Rakha H., *The effects of route choice decisions on vehicle energy consumption and emissions*, "Transportation Research Part D: Transport and Environment", 2008, vol. 13, no. 3.
33. Barth M., Member S., Boriboonsomsin K., Vu A., *Environmentally-Friendly Navigation*, In 2007 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Bellevue, USA, Sept. 30 – Oct. 3 2007.
34. Ericsson E., *Independent driving pattern factors and their influence on fuel-use and exhaust emission factors*, "Transportation Research Part D: Transport and Environment" 2001, vol. 6, no. 5.
35. <https://www.dafrucks.pl/pl-pl> [dostęp: 15.03.2022].
36. El-Shawarby I., Ahn K., Rakha H., *Comparative field evaluation of vehicle cruise speed and acceleration level impacts on hot stabilized emissions*, "Transportation Research Part D: Transport and Environment", 2005, vol. 10, no. 1.
37. Andrzejewski M., *Wpływ stylu jazdy kierowcy na zużycie paliwa i emisję substancji szkodliwych w spalinach*, Praca doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 2013.
38. Auerbach P., Kukla W., *Istota i zasady ekofazdy, czyli integralna część szkolenia w przedsiębiorstwach świadczących usługi transportowe*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Organizacja i Zarządzanie”, 2013, nr 60.
39. Duda I., *„Eco-driving” i jego znaczenie w ruchu drogowym*, Praca magisterska, Politechnika Krakowska, Kraków 2022.
40. The Eco-Drive Promotion Liaison Committee: *10 tips for fuel-conserving Eco Driving*, 2005.
41. Słowiński P., Burdzik R., Fołga P., Domin J., *Eco-driving – nowe podejście do transportu w logistyce*, „Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport”, 2016, z. 111.
42. Matsumoto S., Kobayashi I., Nakamura A., Kawashima H., *Economic evaluation of influence on traffic flow by eco-driving*, Annual report of JSTE, 2007.
43. Kato H., Kobayashi S., *Factors Contributing to Improved Fuel Economy in Eco-Drive*, "Journal of Society of Automotive Engineers of Japan", 2008, vol. 62, no. 11.
44. Hiraoka T., Matsumoto S., Yamabe S., Terakado Y., *Quantitative evaluation of eco-driving on fuel consumption based on driving simulator experiments*, In Proceedings of the 16th World Congress on Intelligent Transport Systems, Stockholm, Sweden, September 2009.
45. https://www.cieca.eu/sites/default/files/documents/projects_and_studies/ECOWILL_FINAL_REPORT.pdf [dostęp: 13.03.2022].
46. <https://www.cieca.eu/project/33> [dostęp: 13.03.2022].
47. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 28 czerwca 2019 r. w sprawie egzaminowania osób ubiegających się o uprawnienia do kierowania pojazdami, szkolenia, egzaminowania i użytkowania uprawnień przez egzaminatorów oraz wzorów dokumentów stosowanych (Dz. U. z 2019 r. poz. 1206).
48. Lempart M., Malik P., *Proste rozwiązania – wymierne korzyści, czyli ekofazda w koncepcji zrównoważonego rozwoju*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Organizacja i Zarządzanie”, 2013, nr 60.
49. https://www.mercedes-benz-trucks.com/pl_PL/brand/truck-training.html [dostęp: 15.03.2022].
50. <https://trends.google.pl/trends/?geo=PL> [dostęp: 17.03.2022].