

MERKISZ Jerzy¹
 PIELECHA Jacek
 ANDRZEJEWSKI Maciej

Wpływ dynamiki rozpędzania samochodu na emisję zanieczyszczeń

*Emisja zanieczyszczeń,
 dynamika ruchu,
 rozpędzanie pojazdu*

Streszczenie

W artykule zaprezentowano wyniki analizy wpływu dynamiki rozpędzania pojazdu (samochodu osobowego) na wartości emisji składników gazowych spalin oraz cząstek stałych. Zagadnienie to dotyczy możliwości wartościowania efektów (emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa) w zależności od przyjętego sposobu rozpędzania pojazdu. W pracy przyjęto różne warianty takiego postępowania: oceniono rozpędzanie pojazdu z uwzględnieniem – z jednej strony – minimalizacji zużycia paliwa, a z drugiej – najmniejszej emisji zanieczyszczeń. Przeprowadzono analizę ujmującą różne priorytety w zmniejszaniu składników spalin popartą możliwościami technicznymi ich spełnienia. W podsumowaniu podano wyniki podjętej analizy, która dotyczyła uzyskania najlepszych efektów energetycznych oraz najmniejszych obciążeń środowiskowych dla różnej dynamiki rozpędzania samochodu.

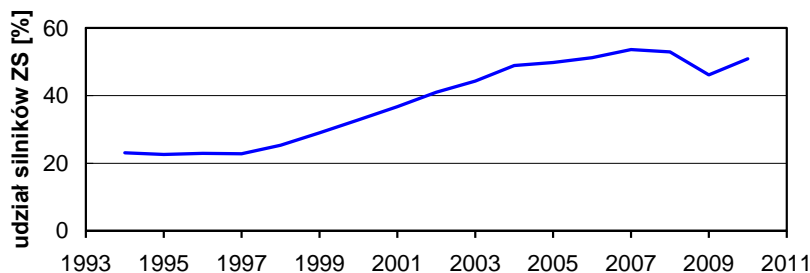
THE INFLUENCE OF THE ACCELERATION DYNAMICS OF THE CAR ON THE EXHAUST EMISSION

Abstract

The article presents the results of the analysis of the impact of acceleration dynamics of the car on the exhaust gaseous emissions and particulates. This issue concerns the possibility of effects valuation (exhaust emission and fuel consumption) depending on the adopted style of acceleration of the car. In the article were adopted different variants of such proceedings: the acceleration of the car was rated, taking into account – on the one hand – minimization of fuel consumption, on the second – the lowest emission of pollutants. An analysis which encloses different priorities in reducing exhaust components was carried out, supported by technical possibilities to fulfill them. The summary presents the results of the undertaken analysis, which involved to obtain the best energy effects and lowest environmental load of adopted patterns of acceleration dynamics of the car.

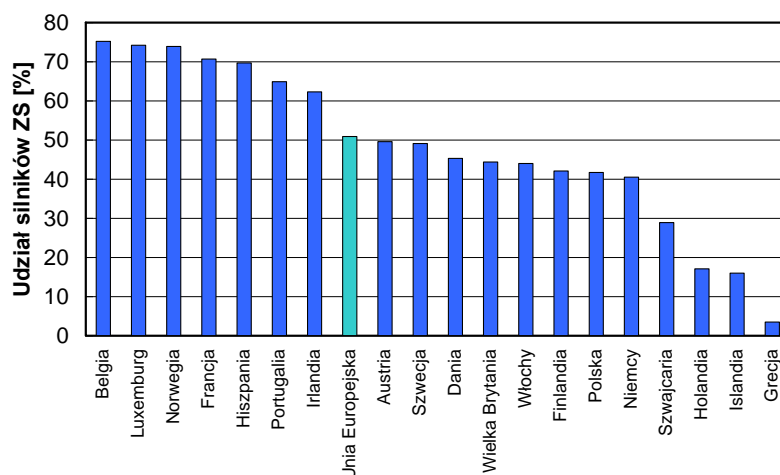
1. WSTĘP

Ze względu na coraz szersze wprowadzanie silników o zapłonie samoczynnym (ZS) do samochodów osobowych i ich całkowitą dominację w pojazdach ciężkich HDV (*heavy duty vehicles*) oraz w zastosowaniu pozadrogowym (*off-road*), należy zwrócić uwagę na zagadnienie emisji związków gazowych oraz cząstek stałych dla tego typu silników. W Europie udział samochodów z silnikami ZS wzrósł w roku 2010 do 52% [1], co odpowiada w przybliżeniu 35 mln pojazdów (rys. 1). W samych Niemczech sprzedaż samochodów osobowych z silnikami ZS zwiększyła się w roku 2010 o blisko 40% (w stosunku do roku poprzedniego), podczas gdy liczba samochodów nowo zarejestrowanych wzrosła zaledwie o 10%. Przyczyną takiego trendu jest przede wszystkim wprowadzeniem na rynek silników ZS z bezpośrednim wtryskiem paliwa (na początku ostatniej dekady udział tych silników wynosił kilka procent wszystkich silników ZS, obecnie w niektórych państwach Unii Europejskiej stanowi ponad 75% całkowitej produkcji tych silników – rys. 2).



Rys. 1. Udział silników ZS w noworejestrowanych pojazdach w Unii Europejskiej w latach 1994-2010 [2]

¹ Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu; 60-965 Poznań; ul. Piotrowo 3.
 Tel: + 48 61 665 2207, Fax: + 48 61 665 2204,
 E-mail: jerzy.merkisz@put.poznan.pl, jacek.pielecha@put.poznan.pl, maciej.andrzejewski@doctorate.put.poznan.pl



Rys. 2. Udział silników ZS w noworejestrowanych pojazdach w wybranych krajach Unii Europejskiej w roku 2010 [2]

Badania ekologiczności pojazdów mają szczególne znaczenie w przypadku pomiarów zanieczyszczeń w dynamicznych warunkach pracy [7, 8]. Warunki te, charakteryzowane niejednokrotnie w dynamicznych testach badawczych [4], nie odzwierciedlają wiarygodnie warunków eksploatacji różnych typów pojazdów. Rozwój technik badawczych ukierunkowany na pomiar bardzo małych stężeń zanieczyszczeń w spalinach spowodował, że w ciągu kilku ostatnich lat największy potencjał badawczy skoncentrowano na badaniach drogowych pojazdów w rzeczywistych warunkach ruchu [5].

W artykule rozpatruje się zagadnienie emisji związków gazowych i cząstek stałych a także zużycia paliwa w odniesieniu do pojazdów zasilanych silnikami ZS w aspekcie kształtowania dynamiki jazdy samochodem w zakresie od jego zatrzymania do uzyskania stałej prędkości jazdy. Okres rozpędzania pojazdu (a ściślej jego dynamika) odpowiada w głównej mierze za wyemitowane związki szkodliwe oraz dużą wartość zużycia paliwa.

Celem badań była odpowiedź na pytanie: w jaki sposób należy rozpędzać pojazd (samochód osobowy) aby minimalizować emisję związków szkodliwych a jednocześnie zapewnić małą wartość zużycia paliwa. Odpowiedź uzyskano na podstawie badania emisji spalin i zużycia paliwa oraz wartościowania tych dwóch wielkości w zależności od przyjętych priorytetów. W efekcie podjętej analizy, uzyskano wyniki dotyczące efektów energetycznych oraz najmniejszych obciążeń środowiskowych dla różnej dynamiki rozpędzania samochodu.

2. METODYKA BADAŃ

2.1. Obiekt badań

Pomiar związków szkodliwych spalin (CO , CO_2 , NO_x , HC) oraz cząstek stałych przeprowadzono w warunkach przyspieszania pojazdu (od zerowej prędkości). Do analizy wybrano 3 przejazdy (spośród 12), które charakteryzowały się największym zróżnicowaniem pod względem dynamiki. Analizowane były tylko odcinki, w których pojazd przyspieszał od fazy zatrzymania (0 km/h, praca silnika na biegu jałowym) do uzyskania prędkości 40 – 50 km/h.

Do pomiarów wybrano samochód osobowy, z silnikiem o pojemności 1,9 dm³ o zapłonie samoczynnym. Pojazd był wyposażony tylko w reaktor katalityczny, natomiast nie był zainstalowany filtr cząstek stałych.

Testy wykonywano na wydzielonym obszarze bez ruchu drogowego, na którym można było w sposób dowolny kształtować dynamikę rozpędzania pojazdu. Obiekt badawczy wraz z zainstalowaną aparaturą zaprezentowano na rysunku 3.

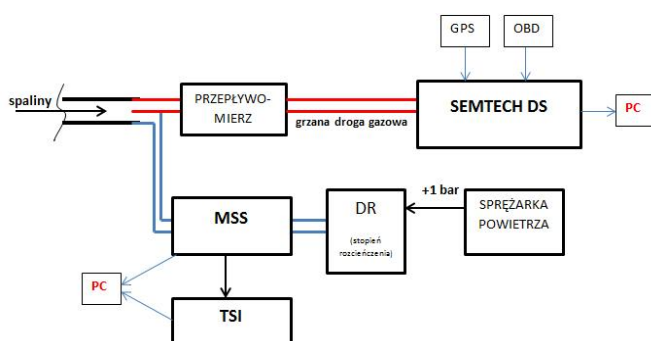
2.2. Aparatura badawcza

Do pomiarów stężenia związków toksycznych wykorzystano analizator do badań toksyczności SEMTECH DS firmy SENSORS (rys. 4). Analizator umożliwiał pomiar stężenia związków szkodliwych (CO , NO_x , HC) oraz masowe natężenie przepływu spalin. Gazy spalinowe wprowadzano do analizatora za pomocą sondy pomiarowej oraz grzanej drogi gazowej utrzymującej temperaturę 191°C. Spaliny kolejno są filtrowane z cząstek stałych (w przypadku silników ZS) i następnie kierowane są do analizatora płomieniowo-jonizacyjnego, w którym dokonywany jest pomiar stężenia węglowodorów. Następnie spaliny są schładzane do temperatury 4°C i następuje kolejno pomiar stężenia tlenków azotu (metodą niedispersyjną z wykorzystaniem promieniowania ultrafioletowego umożliwiającą jednoczesny pomiar tlenu azotu i dwutlenku azotu), tlenu węgla i dwutlenku węgla (metodą niedispersyjną z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego) oraz tlenu (analizatorem elektrochemicznym).

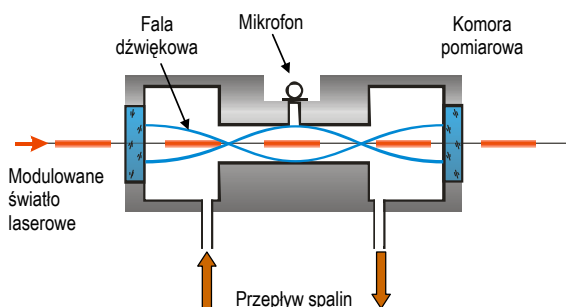
Do określania masy cząstek stałych stosowano analizator Micro Soot Sensor firmy AVL łącznie z układem kondycjonowania próbki – układem rozcieńczania spalin [3]. Zasada działania tego układu jest oparta na pomiarze fotoakustycznym w tzw. rezonansowej komorze pomiarowej (rys. 5). Umożliwia ona detekcję stężenia cząstek stałych od 5 mg/m³. Gazy spalinowe dostarczane są bezpośrednio do komory pomiarowej i podgrzewane modulowanym światłem laserowym. Prowadzi to do periodycznych pulsacji ciśnienia, które są odbierane na detektorze – mikrofonie jako fala dźwiękowa. Następnie sygnał podlega wzmocnieniu i odfiltrowaniu.



Rys. 3. Obiekt badawczy wraz z zainstalowaną aparaturą badawczą



Rys. 4. Schemat połączenia urządzeń wykorzystywanych do badań emisji związków szkodliwych

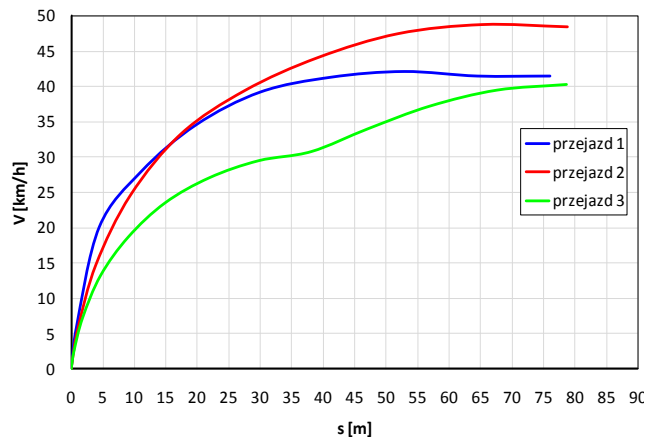
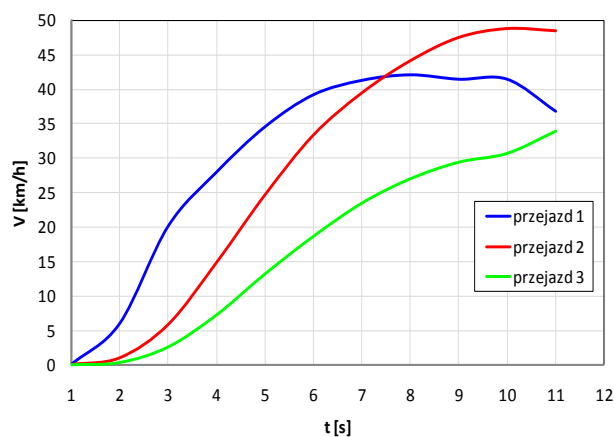


Rys. 5. Schemat działania analizatora do pomiaru cząstek stałych [4]

3. WYNIKI POMIARÓW

Zarejestrowane przebiegi prędkości pojazdu ze wszystkich prób posłużyły do wybrania kilku rejestracji charakterystycznych, które posłużyły do dalszej analizy. Wybrano przebiegi o najmniejszych i największych wartościach osiągniętych prędkości, tak aby maksymalnie zróżnicować dynamikę rozpędzania pojazdu. Zróżnicowanie wybranych przebiegów w zależności od czasu i przebytej drogi zaprezentowano na rysunku 6. Wybrano do analizy następujące przebiegi:

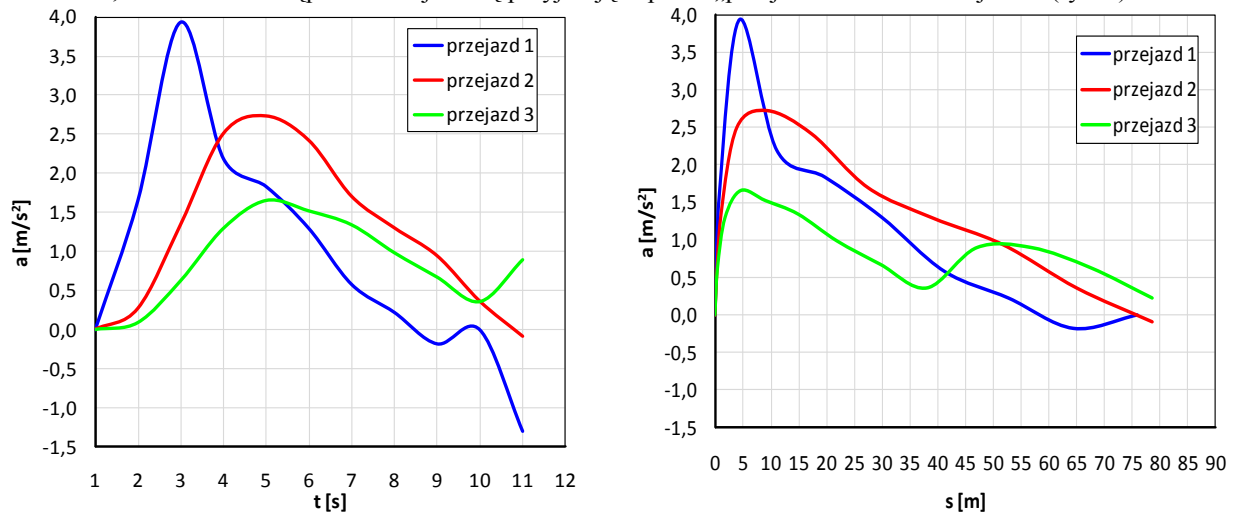
- 1 – bardzo duża dynamika narastania prędkości w początkowym okresie rozpędzania,
- 2 – równomierne rozpędzanie i mniejsze wartości przyspieszenia,
- 3 – rozpędzanie o najmniejszej dynamice i najmniejszych osiągniętych przyspieszeniach (równomierny wzrost prędkości pojazdu).



Rys. 6. Charakterystyki prędkości pojazdu jako funkcji czasu i przebytej drogi

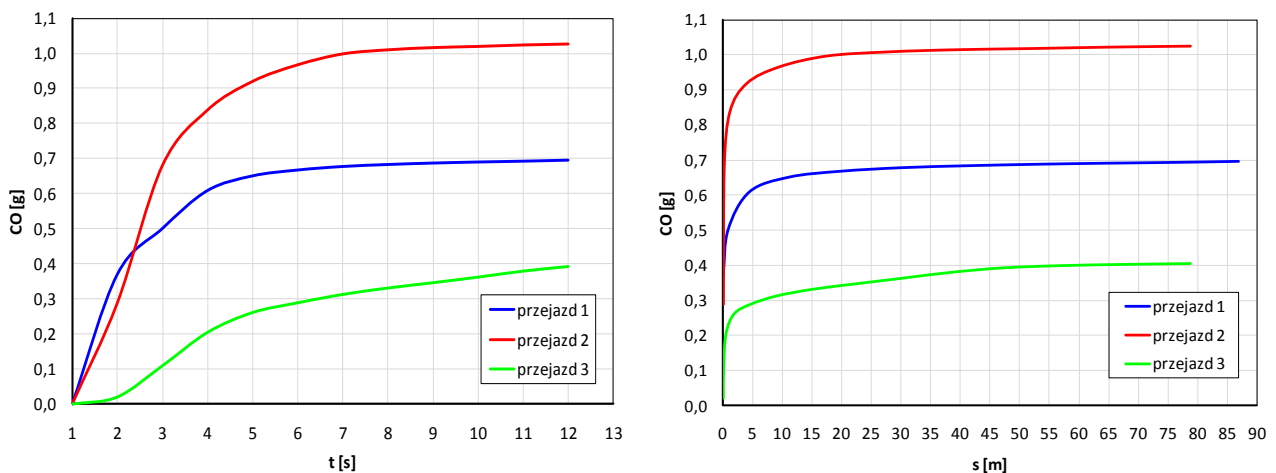
Wybrane przejazdy charakteryzują się zróżnicowaną charakterystyką pod względem dynamiki a zarazem emisji składników szkodliwych spalin i zużycia paliwa. Przejazd oznaczony numerem 2 charakteryzuje się szybkim narastaniem prędkości, w końcowej fazie prędkość się stabilizuje, a następnie maleje. Również bardzo dużo informacji na temat

przyspieszenia pojazdu zawierają wykresy przedstawione na rysunku 7. Przyspieszenie pojazdu bardzo szybko wzrasta do wartości ok. $1,5 - 4 \text{ m/s}^2$ a następnie zmniejsza się przyjmując np. dla „przejazdu 1” wartości ujemne (rys. 7).

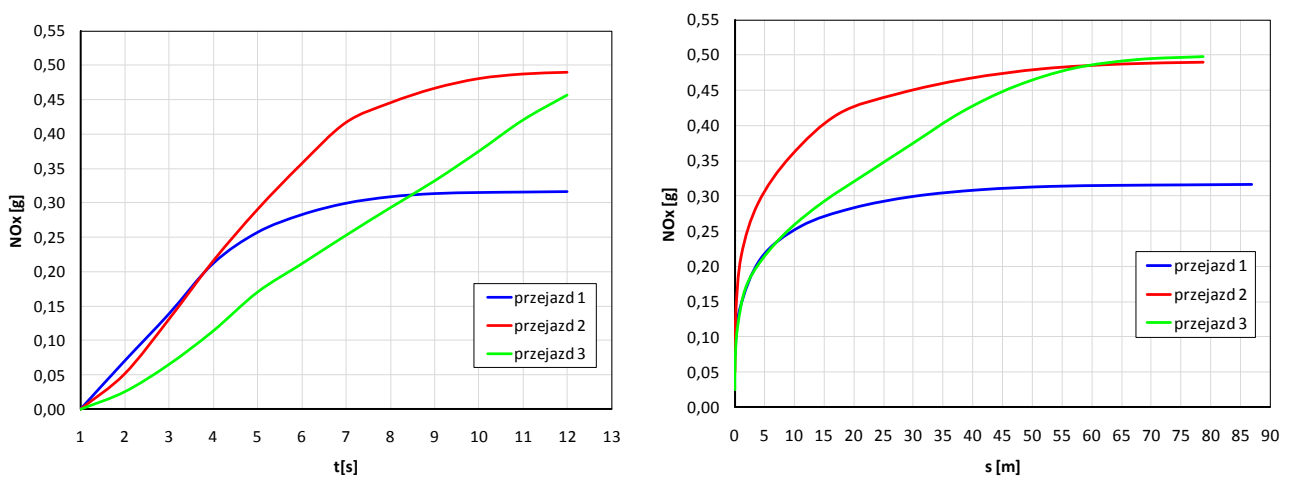


Rys. 7. Charakterystyki przyspieszenia pojazdu jako funkcji czasu i przebytej drogi

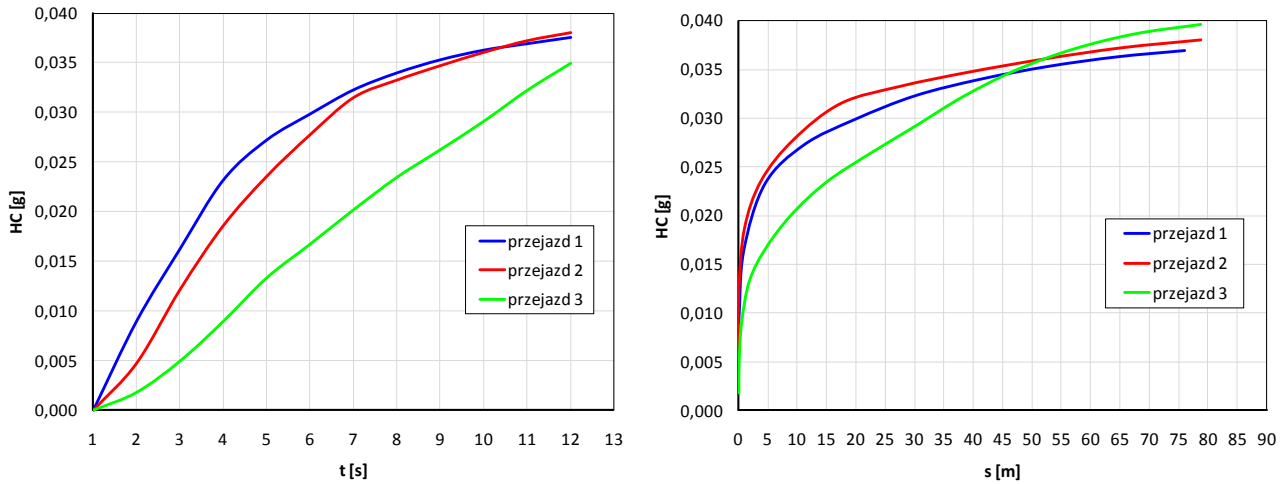
Analiza skumulowanej masy związków szkodliwych wykazuje, że pomiar oznaczony jako „przejazd 2” charakteryzuje się największą skumulowaną masą CO (rys. 8) oraz NO_x (rys. 9), natomiast skumulowana masa węglowodorów dla wszystkich przejazdów pozostaje na stałym poziomie (rys. 10). Emisja cząstek stałych jest największa dla pomiaru oznaczonego „przejazd 2”, a najmniejsza dla „przejazdu 1” (rys. 11). Biorąc pod uwagę ograniczony czas rozpędzania pojazdu do prędkości z zakresu 40 – 50 km/h, nie osiągnięto znaczącego zróżnicowania sposobu rozpędzania pojazdu.



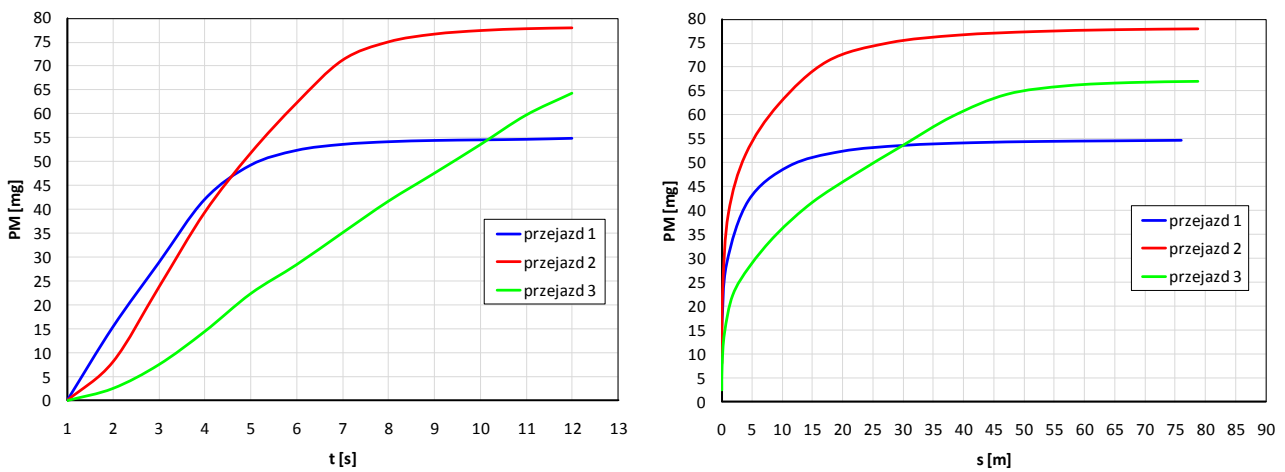
Rys. 8. Charakterystyki skumulowanej emisji tlenku węgla jako funkcji czasu i przebytej drogi



Rys. 9. Charakterystyki skumulowanej emisji tlenków azotu jako funkcji czasu i przebytej drogi

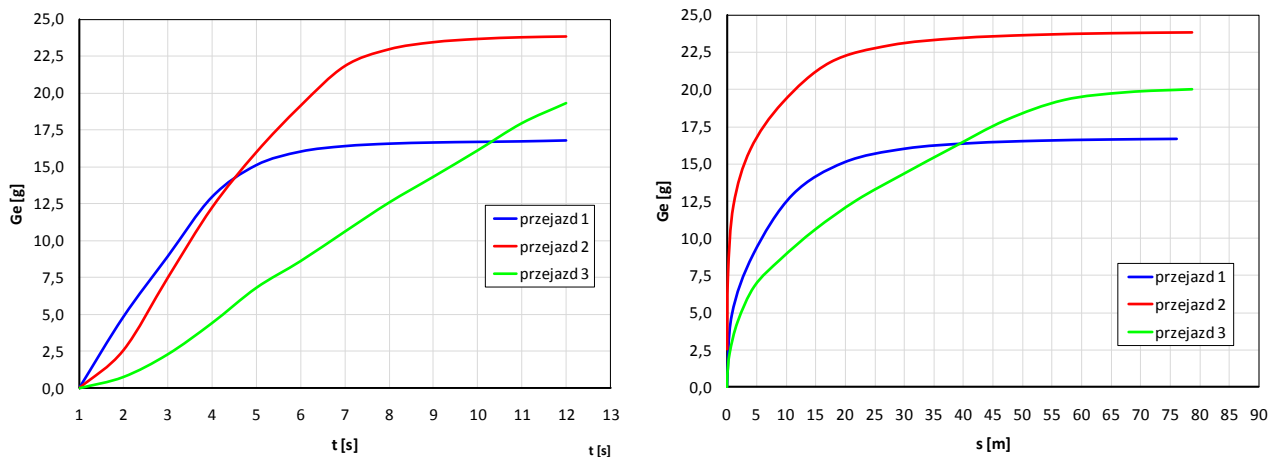


Rys. 10. Charakterystyki skumulowanej emisji węglowodorów jako funkcji czasu i przebytej drogi



Rys. 11. Charakterystyki skumulowanej emisji cząstek stałych jako funkcji czasu i przebytej drogi

Ze względu na wymóg oceny skutków energetycznych dokonano również pomiarów zużycia paliwa. Określono zużycie paliwa jako wartość masy paliwa spalanej na 80 m przebytej drogi. Najmniejszą wartość zużytego paliwa zaobserwowano w „przejazdzie 1”, natomiast największą w „przejazdzie 2”. Różnica między tymi wartościami wynosi około 30% (rys. 12). Z tego wynika że najbardziej pożądanym rozprędzaniem pojazdu ze względów energetycznych jest „przejazd 1”, który charakteryzował się bardzo szybkim wzrostem prędkości pojazdu (a więc największą wartością przyspieszenia w początkowej fazie ruchu, a następnie bardzo łagodnym przejściem do prędkości docelowej).



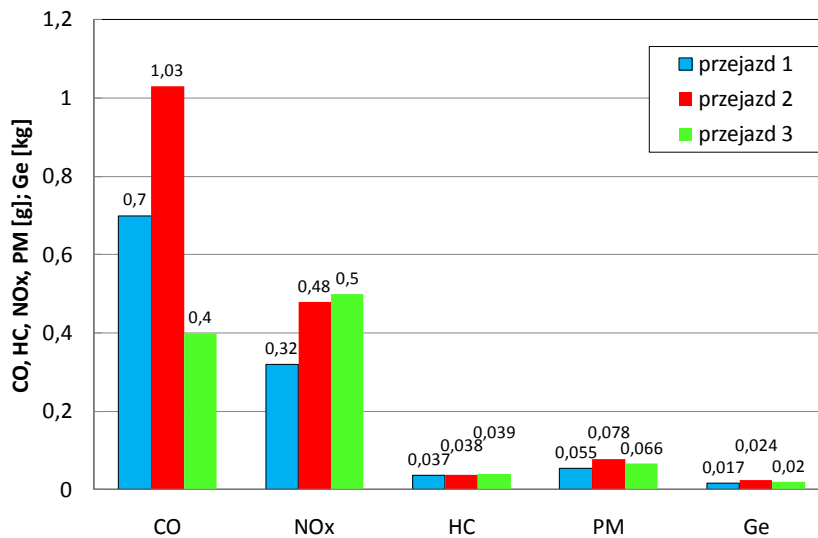
Rys. 12. Charakterystyki skumulowanego zużycia paliwa jako funkcji czasu i przebytej drogi

4. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Analiza wyników badań dotyczyła możliwości wartościowania efektów (emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa) w zależności od przyjętego sposobu rozpędzania pojazdu. Przyjęto różne warianty takiego postępowania: oceniono rozpędzanie pojazdu z uwzględnieniem – z jednej strony – minimalizacji zużycia paliwa, a z drugiej – najmniejszej emisji zanieczyszczeń. Uzyskane rezultaty z badań w formie skróconej zaprezentowano na rys. 13. Taka charakterystyka uzyskanych wyników pozwoliła na przeprowadzenie analizy ujmującej różne przyjęte priorytety oceny końcowej:

- A – brak priorytetów dotyczących zużycia paliwa i poszczególnych związków szkodliwych,
- B – priorytet minimalnej emisji zanieczyszczeń ze szczególnym naciskiem na emisję cząstek stałych,
- C – równy udział sumarycznej emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa,
- D – równy udział emisji zanieczyszczeń (ze szczególnym naciskiem na emisję cząstek stałych) i zużycia paliwa,
- E – priorytet minimalizacji zużycia paliwa; jednakowy udział emisji zanieczyszczeń,
- F – priorytet minimalizacji zużycia paliwa; zwiększony nacisk na emisję cząstek stałych.

Tak przyjęte wartościowanie wyniku końcowego skutkowało przyjęciem wskaźników wag, które zaprezentowano w tabeli 1.



Rys. 13. Wartości emisji związków szkodliwych i zużycia paliwa uzyskane w każdym z rozpatrywanych przejazdów

Tab. 1. Wartości współczynników wagowych przyjętych do wartościowania skutków środowiskowych i energetycznych dla różnych sposobów rozpędzania pojazdu

Priorytety oceny	CO	NO _x	HC	PM	Ge
A	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
B	0,133	0,133	0,133	0,400	0,200
C	0,125	0,125	0,125	0,125	0,500
D	0,033	0,033	0,033	0,400	0,500
E	0,050	0,050	0,050	0,050	0,800
F	0,033	0,033	0,033	0,100	0,800

Aby wykorzystać współczynniki wag ustandaryzowano wartości otrzymane z pomiarów emisji i zużycia paliwa. W wyniku normalizacji danych otrzymano wartości, które są zawarte w przedziale <0,1> (tab. 2). Takie podejście pozwoliło na ocenę zaproponowanego wartościowania oraz obiektywne wybranie rozwiązań spełniających założone kryteria.

Transformacja ta jest przeprowadzana według wzoru:

$$\bar{x}_i = \frac{x_i - x_{i_min}}{x_{i_max} - x_{i_min}} \quad (1)$$

- gdzie:
- \bar{x}_i – wartość po transformacji,
 - x_i – wartość transformowana,
 - x_{i_max} – maksymalna wartość występująca w zbiorze danej cechy,
 - x_{i_min} – minimalna wartość występująca w zbiorze danej cechy.

Tab. 2. Standaryzowane wartości emisji dla różnych sposobów rozpędzania pojazdu

Sposoby rozpędzania pojazdu	CO	NO _x	HC	PM	Ge
1	0,476	0	0	0	0
2	1	0,889	0,5	1	1
3	0	1	1	0,478	0,428

Obliczone wartości skutków ekologicznych i energetycznych wyrażone jako suma iloczynów wartości standaryzowanych i współczynników wagowych przedstawiono w postaci matrycy wartości (tab. 3), gdzie kolorem czerwonym oznaczono wartości maksymalne, a kolorem zielonym – wartości minimalne (dla każdego sposobu rozpędzania pojazdu). Analiza taka może mieć zastosowanie do wyboru dynamiki rozpędzania pojazdu w warunkach poszczególnych przejazdów lub do zastosowania algorytmów w układach automatycznej regulacji prędkości i obciążenia silników spalinowych przy zmianach obciążenia.

Tab. 3. Matryca wartościowania sumy skutków ekologicznych i energetycznych

Priorytety oceny	Sposób rozpędzania pojazdu		
	1	2	3
A	0,0952	0,8778	0,5814
B	0,0635	0,9185	0,5437
C	0,0595	0,9236	0,5241
D	0,0159	0,9796	0,4723
E	0,0238	0,9694	0,4668
F	0,0159	0,9796	0,4573

5. WNIOSKI

W artykule przedstawiono sposób oceny skutków ekologicznych i nakładów energetycznych w zależności od przyjętego przebiegu dynamiki rozpędzania pojazdu. Potwierdzono, że najmniejsze skutki ekologiczne, ale również najmniejsze nakłady energetyczne ponosi się przy rozpędzaniu pojazdu według modelu 1, który polega na bardzo szybkim wzroście prędkości pojazdu i następnie utrzymywaniu już tak uzyskanej jej wartości. Wyniki takie uzyskano niezależnie od przyjętych priorytetów zadania. Pomimo, że badania wykonano tylko dla reprezentatywnego pojazdu (zasilanego silnikiem ZS), przedstawiony sposób wartościowania wpływu na środowisko może być transponowany również na inne środki transportu. W celu pełnego określenia wpływu dynamiki rozpędzania na właściwości ekologiczne i energetyczne pojazdu należy rozszerzyć badania na pojazdy z różnymi silnikami, a także różnym stanie cieplnym silnika.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Schöppe D., Greff A., Zhang H., Frenzel H., Rösel G., Achleitner E., Kapphan F.: *Requirements for future gasoline DI systems and respective platform solutions*. In: 34 Internationales Wiener Motorensymposium, Wien 2011.
- [2] The automobile industry pocket guide, European Automobile Manufacturers Association ACEA, Brussels 2011.
- [3] Photo acoustic soot sensor. PTE Meeting, AVL List GmbH, Graz 2003.
- [4] Regulation (EC) No 510/2011 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2011 setting emission performance standards for new light commercial vehicles as part of the Community's integrated approach to reduce CO₂ emissions from light-duty vehicles. OJ L 145/1.
- [5] Pielecha J., Merkisz J.: *Exhaust emissions during cold start gasoline and diesel engine from passenger cars*. Combustion Engines, No. 3, 2011.
- [6] Rozporządzenie Komisji Europejskiej nr 692/2008 z dnia 18 lipca 2008 wykonujące i zmieniające rozporządzenie (WE) nr 715/2007 Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie homologacji typu pojazdów silnikowych w odniesieniu do emisji zanieczyszczeń pochodzących z lekkich pojazdów pasażerskich i użytkowych (Euro 5 i Euro 6) oraz w sprawie dostępu do informacji dotyczących naprawy i utrzymania pojazdów (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej nr 199 z dnia 28.07.2008).
- [7] Rubino L., Bonnel P., Carriero M., Krasenbrink A.: *Portable emission measurement system (PEMS) for heavy duty diesel vehicle PM measurement: the European PM PEMS program*. SAE Technical Paper Series 2009-24-0149.
- [8] *Worldwide emissions standards: passenger cars, light duty vehicles and heavy duty vehicles*. Delphi Innovation for the Real World, 2011.