

ANALIZA MOŻLIWOŚCI OBNIŻENIA ZUŻYCIA PALIWA W SAMOCHODACH OSOBOWYCH

W artykule poruszony został problem redukcji zużycia paliwa w samochodach osobowych. Opisany został wpływ zmiany stopnia sprężania w silniku o zapłonie iskrowym. Wyszczególniono możliwości takiego rozwiązania, po czym wskazano ograniczenia, jakie występują w projektowaniu takiego silnika. W drugiej części artykułu przeanalizowano test mający na celu odpowiedzenie na pytanie, jak wpływa obciążenie samochodu na zużycie paliwa. Końcowa część artykułu to opis sił oporów aerodynamicznych występujących w poruszającym się samochodzie. Wskazano tendencje rozwojowe w projektowaniu oraz zalety i wady poszczególnych rozwiązań.

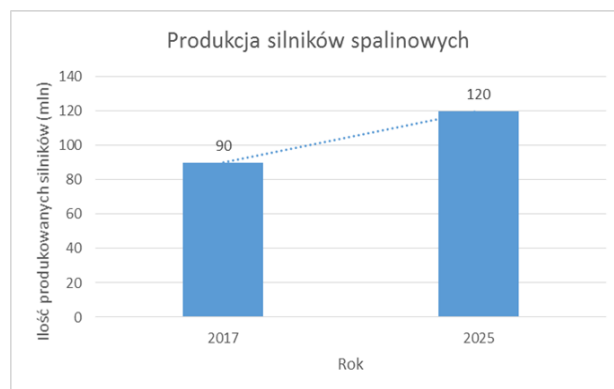
WSTĘP

Współcześnie rozwój silników spalinowych nastawiony jest głównie na ograniczenie emisji substancji szkodliwych oraz na redukcję zużycia paliwa. Konsumenci coraz częściej przy wyborze konkretnego modelu samochodu kierują się względami ekonomicznymi. Z tego powodu konstruktorzy samochodów starają się zaprojektować tak samochód, aby możliwie był ekonomiczny oraz posiadał dobrą dynamikę. Istnieje wiele sposobów na obniżenie zużycia paliwa, zaczynając od tych związanych bezpośrednio z silnikiem a kończąc na konstrukcji nadwozia. Obecnie trwa prawdziwy wyścig związany z rozwojem motoryzacyjnym. Silnik spalinowy jest nadal najpopularniejszą jednostką zamieniającą energię zawartą w paliwie na energię mechaniczną. Należy jednak pamiętać, że tradycyjne zasoby paliw powoli ulegną wyczerpaniu, dlatego też taki duży nacisk kładziony jest na stosowanie odnawialnych źródeł zasilania samochodów. Można jednak stwierdzić, że rewolucja związana z alternatywnymi metodami napędowymi takimi jak silniki hybrydowe czy wodorowe już się zaczęła.

Mając na uwadze wszystkie powyższe informacje oraz to, że proces poszukiwania alternatywnych źródeł napędzania silników jest bardzo dynamiczny, trzeba przyznać, że przez najbliższe kilka lat tradycyjny silnik czterosurowy będzie najpopularniejszą jednostką montowaną w samochodach osobowych. W artykule przedstawiona zostanie analiza sposobów obniżenia zużycia paliwa w samochodach z tradycyjnymi silnikami spalinowymi.

1. WPLYW ZMIANY STOPNIA SPRĘŻANIA NA REDUKCJĘ ZUŻYCIA PALIWA

Najczęściej silniki spalinowe o zapłonie iskrowym (ZI) stosowane są w samochodach osobowych, natomiast silniki o zapłonie samoczynnym (ZS) montowane są w samochodach dostawczych. Produkcja samochodów ciągle zwiększa się, analogicznie powstaje także więcej silników. Obecnie produkuje się około 90 milionów jednostek napędowych rocznie, natomiast już w 2025 roku prawdopodobnie tych jednostek będzie produkowanych aż 125 milionów sztuk w przeciągu roku. Rysunek 1 przedstawia prognozowany wzrost ilości produkowanych silników w najbliższych latach.



Rys. 1. Prognoza produkcji silników spalinowych na najbliższe lata.

Rozważania zawarte w artykule oparte zostały głównie na silnikach o zapłonie iskrowym, które według autora artykułu będą coraz częściej instalowane w samochodach osobowych.

Zmiana stopnia sprężania jest jednym ze sposobów obniżenia zużycia paliwa. Podniesienie stopnia sprężania daje szereg pozytywnych rezultatów. Najogólniej można powiedzieć, że wzrost stopnia sprężania powoduje zwiększenie sprawności ogólnej silnika. Sprawność ogólna określa wszystkie straty w silniku. Moc jest określana iloczynem prędkości zużywania paliwa (g_e) oraz wartości opałowej (W_o). W celu dokładnego określenia sprawności ogólnej silnika należy posłużyć się rozbudowanym wzorem uwzględniającym najważniejsze zmienne:

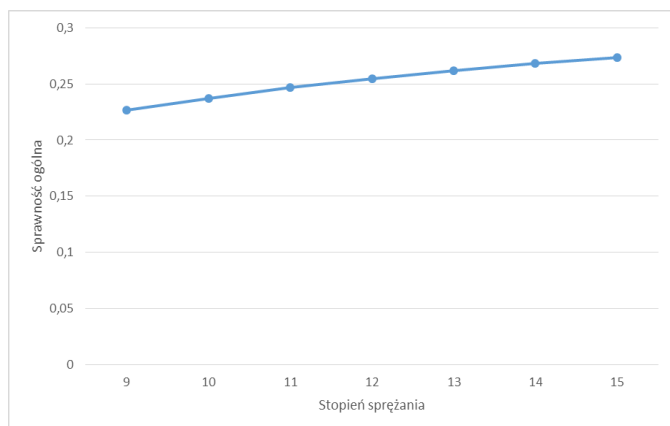
$$\eta_o = \frac{N_e \cdot t}{g_e \cdot N_e \cdot t \cdot W_o} = \frac{1}{g_e \cdot W_o} \quad (1)$$

gdzie:

W_o — wartość opałowa paliwa (g/kWh),

g_e — jednostkowe zużycie paliwa (kJ/kg).

Rysunek 2 przedstawia zależność sprawności ogólnej silnika o zapłonie iskrowym od zmiany stopnia sprężania.



Rys. 2. Funkcja zmiany zużycia paliwa od zmiany stopnia sprężania

Jednostkowe zużycie paliwa prezentuje zależność zużycia paliwa do mocy efektywnej silnika:

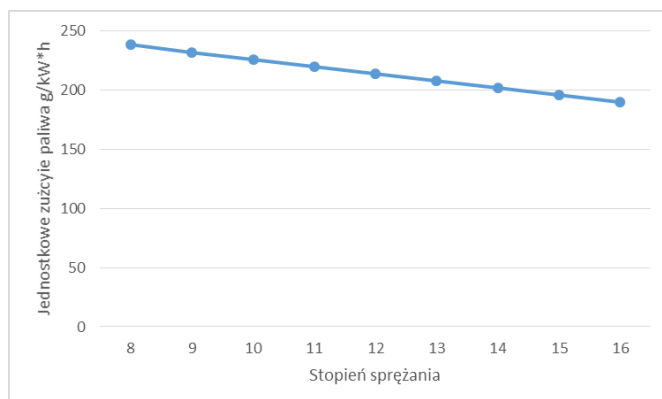
$$g_e = \frac{G_e}{N_e} \quad (2)$$

Gdzie:

G_e — godzinowe zużycie paliwa w (g/h lub kg/h)

N_e — moc użyteczna w (kW).

Można stwierdzić, że jednostkowe zużycie paliwa jest miarą sprawności ogólnej silnika. Przeprowadzone przez autorów badania wykazały, że bezpośredni wzrost stopnia sprężania przekłada się na obniżenie jednostkowego zużycia paliwa. Rysunek 3 przedstawia zależność zmiany jednostkowego zużycia paliwa od zmiany stopnia sprężania w silniku o zapłonie iskrowym.

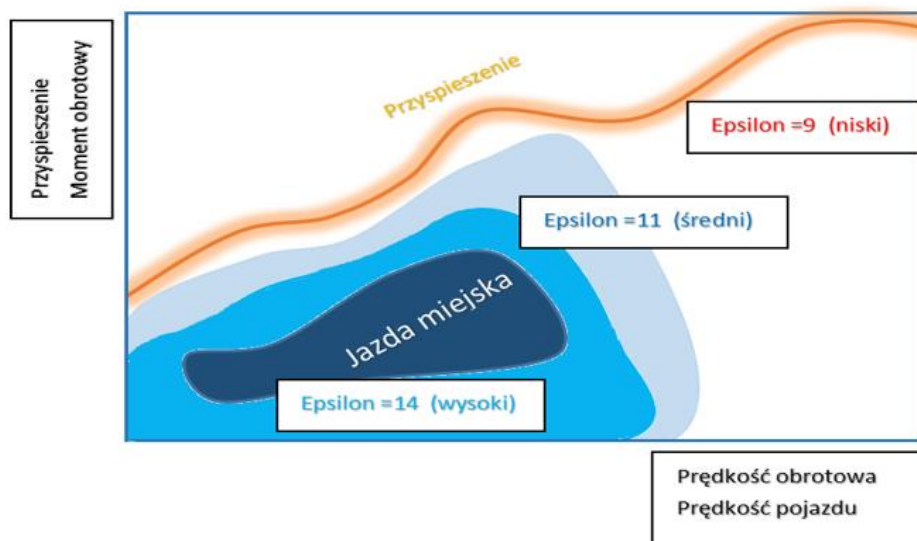


Rys. 3. Funkcja zmiany zużycia paliwa od zmiany stopnia sprężania.

Obniżenie zużycia paliwa przekłada się bezpośrednio na zmniejszenie emisji dwutlenku węgla do środowiska. Podsumowując, wzrost stopnia sprężania wpływa zarówno na obniżenie zużycia paliwa, redukcję emisji substancji szkodliwych do otoczenia a także na wzrost sprawności ogólnej silnika. Niestety podnoszenie stałe podnoszenie stopnia sprężania nie jest możliwe z kilku względów. Ograniczenia konstrukcji silnika są jedną z poważniejszych przeszkód w stosowaniu wysokiego stopnia sprężania, kadłub oraz pozostałe części silnika nie są w stanie wytrzymać zbyt wysokiego stopnia sprężania. Innym problemem jest możliwość wystąpienia spalania stukowego.

Współczesne silniki mają ustalany stały stopień sprężania, jednak od charakteru jazdy zależy, kiedy jaki stopień sprężania powinien być ustalony w silniku. Dla przykładu można podać, że w czasie jazdy samochodu w ruchu miejskim pożądanym byłoby utrzymanie stopnia sprężania możliwie na najwyższym poziomie, około 14. Natomiast podczas jazdy w ruchu pozamiejskim stopień sprężania powinien się obniżyć. Rysunek 4 przedstawia optymalny stopień sprężania w zależności od warunków drogowych.

Mapa optymalnego stopnia sprężania w zależności od warunków drogowych



Rys. 4. Mapa rozkładu optymalnego stopnia sprężania w zależności od charakteru jazdy

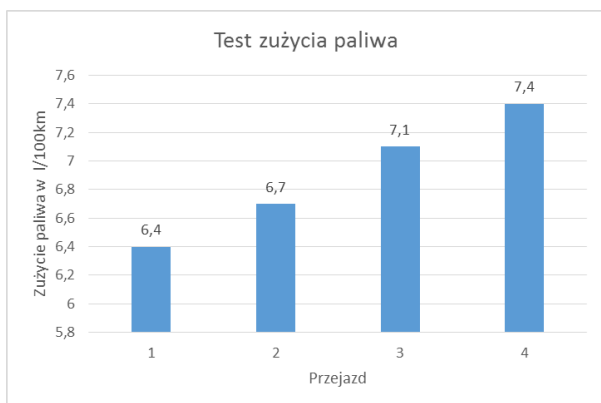
2. ANALIZA WPŁYWU REDUKCJI MASY POJAZDU ORAZ JEJ WPŁYW NA ZMNIJSZENIE ZUŻYCIA PALIWA

Innym sposobem na obniżenie zużycia paliwa jest redukcja masy pojazdu. Mniejsze obciążenie pojazdu to także lepsze przyspieszenie oraz mniejsze opory tarcia, jakie występują pomiędzy drogą a oponami. Na potrzeby artykułu przeprowadzony został test związany z czterema przejazdami samochodem osobowym Peugeot 807 2.0 HDI na odcinku 100 kilometrów z możliwie stałą prędkością średnią 90 km/h autostradą A4. Aby wyniki przeprowadzonego testu można byłoby uznać za wiarygodne wszystkie cztery przejazdy odbywały się podczas bardzo podobnych warunków atmosferycznych. W celu odpowiedzi na pytanie jak wpływa obciążenie pojazdu na poziom zużycia paliwa każdy z czterech przejazdów różnił się od siebie obciążeniem samochodu. Tabela 1 prezentuje obciążenie samochodu w poszczególnych próbach.

Tab.1. Obciążenie poszczególnych przejazdów

Przejazd 1	Przejazd 2	Przejazd 3	Przejazd 4
Obciążenie 90 kg	Obciążenie 180 kg	Obciążenie 360 kg	Obciążenie 630 kg

Pierwszy przejazd obciążony był jedynie kierowcą o wadze 90 kg, do pozostałych przejazdów użyto worków z węglem o wadze 30 kg każdy. Obciążenie układane było w sposób równomierny na całej powierzchni auta, starano się także, aby charakter jazdy był możliwie identyczny bez gwałtownych przyspieszeń i na możliwe najniższym biegu. Rysunek 4 przedstawia wyniki przeprowadzonego testu.



Rys. 4. Wyniki testu zużycia paliwa

Interpretacja wyników jest jednoznaczna i przewidywalna, wzrost obciążenia samochodu wpływa na zwiększenie zużycia paliwa. Różnica związana z przejazdem 1 gdzie obciążony samochód był jedynie kierowcą a przejazdem 4 jest znaczna. Jeden litr paliwa więcej zużywał samochód obciążony o 540 kg więcej. Analizując same aspekty ekonomiczne zakładając, że samochód w ciągu 10 lat przejedzie około 150 tys. kilometrów przy obciążeniu 540 kg większym, a cena litra oleju napędowego w chwili obecnej kosztuje 4,70 zł. Wykonując proste działania matematyczne można stwierdzić, że koszt przejechania 150 tys. kilometrów wyniesie 45 120 zł w przypadku przejazdu jedynie z obciążeniem w postaci kierowcy natomiast w przypadku obciążenia samochodu ciężarem 630 kg koszt paliwa wzrośnie aż do 52 170 zł jest to o 7050 zł więcej.

Redukcja masy pojazdu jest zabiegiem coraz częściej stosowanym przez projektantów. Problemem byłoby usunięcie elemen-

tów samochodu w celu redukcji masy, możliwe jest jednak zastępowanie ciężkich materiałów, z których wytwarzane są części takich jak stal czy żeliwo na materiały lżejsze takie jak aluminium oraz włókno węglowe. W sporcie motorowym redukcja masy jest jedną z najważniejszych dziedzin, która jest ciągle rozwijana. Obniżenie masy pojazdu sportowego nawet o kilka kilogramów jest niezwykle pożądane i daje znakomite wyniki. Istnieje dużo możliwości redukcji masy w samochodzie, do dających najlepsze rezultaty można zaliczyć:

- aluminiowa konstrukcja nadwozia,
- kolektor dolotowy zintegrowany z głowicą w silnikach benzynowych,
- ograniczone okablowanie jednostki sterującej,
- aluminiowe zwrotnice,
- ergonomiczne fotele z lżejszej pianki,
- zastąpienie koła zapasowego zestawem naprawczym.

3. WPŁYW OPORÓW POWIETRZA NA SAMOCHÓD PODCZAS JAZDY

Wszystkie siły, które działają na pojazd podczas jazdy nazywamy oporami ruchu. Do oporów ruchu zaliczyć można:

- siłę oporu aerodynamicznego,
- siłę oporów toczenia,
- siłę bezwładności,
- siłę tarcia wewnętrznego.

Rozważając siłę oporów aerodynamicznych należy zacząć od stwierdzenia, że opór aerodynamiczny to opór powietrza przeciwstawiający się poruszającemu się samochodowi. Powierzchnia czołowa pojazdu ma bardzo duże znaczenie przy obliczaniu wartości oporu powietrza. W sporcie motorowym, samochody projektowane są tak, by opory powietrza były możliwie najmniejsze. Projektowane samochody spędzają wiele godzin w tunelach aerodynamicznych, w celu optymalizacji nadwozia tak by to było możliwie najbardziej opływowe.

Poza powierzchnią czołową kolejnym istotnym parametrem przy obliczeniu oporów powietrza jest prędkość pojazdu. Im szybciej samochód się porusza tym opory powietrza są większe. Często mechanicy żartują, że im szybciej jedziemy tym bardziej matka natura chce nas zatrzymać. W tym potocznym stwierdzeniu znajduje się bardzo dużo prawdy. Wzór na siłę oporów jest następujący:

$$F_p = 0.5\rho \cdot V_2 \cdot A \cdot C_x \quad (3)$$

Gdzie:

F_p – siła oporów aerodynamicznych

ρ – gęstość powietrza

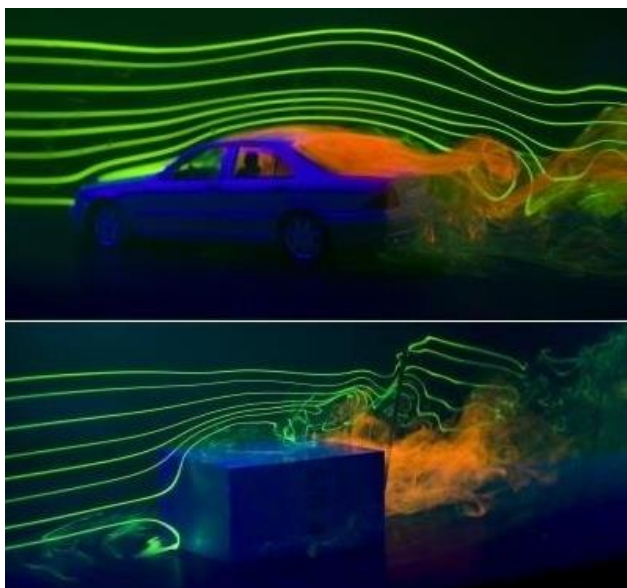
V_2 – prędkość pojazdu

A – powierzchnia czołowa pojazdu

C_x – współczynnik oporów powietrza.

Na wystąpienie dodatkowych oporów aerodynamicznych w samochodzie wpływ ma także pozostawienie otwartych okien podczas jazdy czy szyberdachu. Instalowanie dodatkowych spoilerów może poprawić docisk samochodu jednak opory aerodynamiczne będą się zwiększać.

Nadwozie powinno być tak zaprojektowane, aby w możliwie największym stopniu wyeliminować wszystkie kanty i płaskie powierzchnie. Sylwetka musi być maksymalnie opływowa gdyż to spowoduje swobodny przepływ powietrza. Rysunek 5 przedstawia różnicę w oporze powietrza samochodu osobowego oraz sześcianu.



Rys. 5. Porównanie wpływu powierzchni na ruch powietrza w czasie jazdy

Powyższy rysunek doskonale pokazuje jak bardzo ruch powietrza zostaje zaburzony, gdy powierzchnia czołowa zwiększa się. Szacuje się, że poprzez zwiększenie oporów aerodynamicznych samochód osobowy może zużyć do 2 litrów paliwa więcej na dystansie 100 kilometrów.

PODSUMOWANIE

Współcześnie podczas konstruowania samochodów osobowych można zaobserwować trend, w którym obniżenie zużycia paliwa jest jednym z kluczowych celów projektantów. Zmniejszenie zużycie paliwa przekłada się bezpośrednio na redukcję dwutlenku węgla emitowanego przez samochód do środowiska.

Budowanie silników charakteryzujących się zmiennym stopniem sprężania jest przyszłością motoryzacji. Wpływ na to ma fakt, że silniki te mogą dostosować swoją pracę do aktualnych warunków drogowych. Zalety prezentowanego rozwiązania to podniesienie sprawności ogólnej, redukcja zużycia paliwa i zmniejszenie emisji dwutlenku węgla. Redukcja obciążenia pojazdu jest bardzo dobrym przykładem jak można stosunkowo w łatwy sposób bez dodatkowych kosztów osiągnąć cel w postaci zmniejszenia zużycia paliwa. Ostatnim prezentowanym przykładem jest wpływ oporów aerodynamicznych i sposób ich obliczania.

Wszystkie rozważania zawarte w artykule w mniejszym bądź większym stopniu mają na celu ukazanie, jakie są możliwości

zmniejszenia zużycia paliwa przez samochód. Paliwa kopalniane należą do grupy paliw nieodnawialnych, zasoby te są ograniczone, nieustannie ich zasoby się zmniejszają. W dalszym ciągu poszukiwane są nowe rozwiązania mające na celu, redukcję zużycia paliwa.

BIBLIOGRAFIA

1. Bieniek A., Mamala J., Graba M., *Możliwości wstępnego ograniczenia emisji NOx i PM silnika wysokoprężnego w aspekcie przyszłościowych norm emisji pojazdów pozadrogowych*, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 2012, Pages 75-86.
2. Changming G., Fenghua L., Jingzhen S., Kang W., *Effect of compression ratio on performance and emissions of a stratified-charge DISI (direct injection spark ignition) methanol engine*, Energy 2016, Pages 166-175.
3. Drabik D., Mamala J., *Effective compression ratio of combustion engine as a way of increasing efficiency.*, Journal of KONES. 2016, Pages 93-99.
4. Luft S., *Podstawy budowy silników*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2011.
5. Mamala J., *Kompensacja niedostatku siły napędowej w procesie rozpędzania samochodu osobowego*, Wydawnictwa Politechniki Opolskiej 2011.
6. Mysłowski J., *Doładowanie silników Pojazdy samochodowe*, Oficyna Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ Warszawa 2011.
7. Sobieszczański M., *Modelowanie procesów zasilania w silnikach spalinowych*, Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji Łączności, Warszawa 2000.
8. Wajand J., *Mikrokomputerowe obliczenia silnika spalinowego*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1990.
9. Wimmer A., Glaser J., *Indykowanie silnika*, Wydawnictwo AVL List GmbH, Warszawa 2004.

Possibility analysis of the fuel consumption reduction in passenger cars

The article presents an analysis of the influence of the engine's compression ratio on the engine's performance. In this article the main focus was put on reducing fuel consumption. The article is divided into three parts, including the impact of the change of the compression, the vehicle load, and the problem of the vehicle aerodynamics. Each of the ways to reduce fuel consumption results in a greater or lower level of the intended effect.

Autorzy:

mgr inż. **Dawid Drabik** - Politechnika Opolska, Katedra Pojazdów Drogowych i Rolniczych, drabteam@wp.pl.